



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

PROYECTO FIN DE CARRERA

Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electrónica Industrial

SISTEMA DE DETECCIÓN Y EMISIÓN DE ALERTAS PARA EVITAR COLISIONES CON PEATONES

Autor: Pablo Esteban Santa Teresa

Tutor: Fernando García Fernández

Leganés, Mayo 2012

Dedicatoria

*A mi familia, y en especial a mi padre, por ser mi ejemplo a seguir y la
persona que me enseñó a disfrutar de los momentos de la vida.*

Siempre te recordaré

Índice general

Capítulo 1. Introducción y objetivos

1.1 Resumen	3
1.2 Introducción	4
1.2.1 Objetivos a desarrollar	7
1.2.2 Fases de desarrollo.....	7
1.2.3 Medios con los que se han contado para realizar el proyecto	9
1.2.4 Estructura del documento.....	9

Capítulo 2. Estado del arte

2.1 Introducción	13
2.2 Sistemas ADAS (<i>Advanced Driver Assistance Systems</i>).....	14
2.2.1 Control de Crucero Adaptativo, <i>Adaptive Cruise Control</i> (ACC).....	14
2.2.2 Sistema de aviso de cambio involuntario de carril (<i>LDWS</i>).....	15
2.2.3 Visión Nocturna.....	16
2.2.4 Detección de obstáculos en el ángulo muerto.....	17
2.2.5 Sistemas de detección de fatiga y somnolencia del conductor	19
2.2.6 Sistema de detección de señales, <i>Traffic Sign Recognition</i> (TSR)	20
2.2.7 Detección de obstáculos	21
2.2.8 Seguridad en intersecciones	22
2.2.9 Comunicación entre vehículos (V2V)	22
2.2.10 Sistemas de control global	23

Capítulo 3. Descripción del hardware y software del equipo

3.1 Introducción	26
3.2 Vehículo de pruebas IVVI 2.0	26
3.3 Descripción del hardware instalado en el vehículo	27
3.3.1 Telémetro láser	28
3.3.2 Sistema de visión.....	29
3.3.3 Sistema de localización GPS	29
3.3.4 Adquisición y procesado de datos.....	30
3.3.5 Visualización	31
3.3.6 Alimentación	32
3.4 Descripción del software instalado en el equipo	32

3.4.1 Microsoft Visual C++2008 Express Edition	32
3.4.2 Matlab	33
Capítulo 4. Desarrollos previos	
4.1 Introducción	36
4.2 Sistema de detección de obstáculos por fusión de los sistemas de láser y visión	36
4.2.1 Detección de peatones por medio de dispositivo láser	37
4.2.1.1 Fase de adquisición de datos y procesamiento previo	37
4.2.1.2 Fase de tratamiento de polilíneas y clasificación de peatones	38
4.2.1.3 Otras cuestiones referentes al láser	39
4.2.2 Detección de peatones por medio de la visión estéreo	40
4.2.3 Resultados de la fusión de sistemas	41
4.3 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	41
Capítulo 5. Desarrollo de la aplicación	
5.1 Estructura de la aplicación	46
5.2 Cálculo velocidad del vehículo	47
5.3 Zonas de riesgo	47
5.3.1 Distancia de reacción	48
5.3.2 Distancia de frenado	49
5.3.3 Distancia de frenado absoluta	50
5.4 Alertas por detección de peatones	50
5.4.1 Alerta auditiva	50
5.4.2 Alerta visual	51
5.4.2.1 Representación en escala	53
Capítulo 6. Implementación	
6.1 Introducción	56
6.2 Conexión por sockets	57
6.3 Procesado de datos. Lectura y envío	58
6.3.1 Datos proporcionados por el sistema de detección de obstáculos	61
6.3.2 Datos proporcionados por el GPS	62
6.3.3 Envío de datos entre programa servidor y cliente	63
6.4 Cálculo de zonas de riesgo y representación por pantalla	63
Capítulo 7. Resultados	
7.1 Introducción	67
7.2 Conectividad entre sockets	67

7.3 Análisis de las pruebas con secuencias de peatones	68
7.4 Análisis del funcionamiento en tiempo real	72
Capítulo 8. Conclusiones y trabajos futuros	
8.1 Conclusiones.....	76
8.2 Trabajos futuros.....	76
Capítulo 9. Presupuesto	
9.1 Introducción	80
9.2 Coste de material.....	80
9.3 Coste de personal	81
9.4 Coste total del proyecto	81
Bibliografía.....	83

Índice de figuras

<i>Figura 1: Esquema que muestra las fases del proyecto.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2: Evolución de los sistemas de seguridad frente a la asistencia del conductor y la seguridad potencial.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3: Ejemplos de sistemas LWDS. a) Por medio de videocámara y b) por sensores infrarrojos.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4: Visión nocturna por medio de infrarrojos (a) y por cámara térmica (b).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5: Zonas de ángulo muerto que se crean en el espejo retrovisor de un vehículo</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6: Funcionamiento del sistema de asistencia al cambio de carril.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7: Ejemplo de funcionamiento del sistema de detección de señales</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8: Sistema de detección de obstáculos por medio de fusión de datos entre láser y visión.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 9: Situaciones de peligro que se evitarían con el sistema V2V</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10: Vehículo de pruebas IVVI 2.0, y los dispositivos instalados en él</i>	<i>27</i>
<i>Figura 12: Comportamiento del láser durante un escaneo para conseguir la resolución de 0,25°</i>	<i>28</i>
<i>Figura 11 : Telémetro láser modelo SICK LMS 291-S05</i>	<i>28</i>
<i>Figura 13: Láser SICK LMS 291-S05 instalado en el frontal del automóvil IVVI 2.0</i>	<i>29</i>
<i>Figura 14: Imagen del GPS MTi-G en la que se aprecian sus reducidas dimensiones.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 15: Conversor serie USB Redcom</i>	<i>31</i>
<i>Figura 16: Pantalla Xenarc 700 TSV de 7 pulgadas</i>	<i>31</i>
<i>Figura 17: Láser basado en la medida del tiempo de vuelo.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 18: Creación del abanico del campo de visión gracias al giro del espejo reflector y contorno del objeto detectado</i>	<i>38</i>
<i>Figura 19: Polilínea característica creado por el peatón según su dirección de desplazamiento.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 20: Ejemplo de detección de peatones por medio de polilíneas y sus ángulos.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 21: Corrección del movimiento del vehículo. a) Patrón original y b) patrón corregido</i>	<i>40</i>
<i>Figura 22: Sistema de coordenadas con origen en el centro de la tierra.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 23: Esquema general de funcionamiento del sistema.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 24: Zonas de riesgo que provoca el vehículo con sus correspondientes distancias.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 25: Simulaciones donde primeramente no se ha detectado ningún peatón, y en la segunda imagen peatón detectado en zona de seguridad. En ninguna de las dos aparece alarma de peligro</i>	<i>52</i>
<i>Figura 26: Simulaciones donde primeramente es detectado un peatón en zona de peligro, y en la segunda imagen un peatón es detectado en zona de colisión inminente. En las dos simulaciones se pueden ver las alertas visuales</i>	<i>52</i>
<i>Figura 27: Simulaciones donde se puede observar como varían las escalas según velocidad del vehículo.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 28: Esquema general de implementación</i>	<i>56</i>
<i>Figura 29: Esquema de implementación de sockets.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 30: Ejemplo de bloque de datos en el que se pueden ver los diferentes códigos de identificación.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 31: Esquema explicativo del funcionamiento de la adquisición y envío de datos</i>	<i>60</i>
<i>Figura 32: Consolas de programación donde se puede comprobar el correcto envío de los datos.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 33: Secuencia que simula a un peatón inmóvil en la carretera, que ha sido detectado, y gracias a la alerta emitida en la zona de peligro el conductor reduce la velocidad hasta llegar a detenerse por completo sin que se produzca la colisión.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 34: Secuencia que simula a un peatón inmóvil en la carretera que ha sido detectado, pero el vehículo no aminora la velocidad produciéndose la colisión a pesar de los avisos emitidos</i>	<i>69</i>
<i>Figura 35: Simulación de varios peatones detectados de forma simultánea y donde se aprecia la prioridad de alerta.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 36: Simulación de falsa alarma al encontrarse peatón fuera de la trayectoria del vehículo</i>	<i>71</i>

Figura 37: Secuencia que simula a un peatón cruzando la calzada, donde el vehículo disminuye la velocidad hasta llegar a pararse para evitar la colisión. En la secuencia se puede observar el cambio de escalas para mejorar la visualización 72

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Tasas de accidentes y víctimas producidos durante los últimos 15 años en España. Fuente DGT [2].</i>	4
<i>Tabla 2: Tasas de peatones víctimas en accidentes durante los últimos 15 años en España. Fuente DGT [2].</i>	5
<i>Tabla 3: Consumo de potencia de los dispositivos.</i>	32
<i>Tabla 4: Porcentaje de acierto según sistema de detección de peatones.</i>	41
<i>Tabla 5: Distancias en las que se dividen las diferentes zonas de riesgo.</i>	48
<i>Tabla 6: Características de la alerta auditiva según zonas de riesgo.</i>	51
<i>Tabla 7: Rangos de funcionamiento de las escalas según velocidad.</i>	53
<i>Tabla 8: Ejemplo de secuencia proporcionada por el sistema de detección por medio del láser.</i>	61
<i>Tabla 9: Ejemplo de secuencia proporcionada por el dispositivo GPS.</i>	62
<i>Tabla 10: Desglose de tiempos de ejecución de cada proceso.</i>	73
<i>Tabla 11: Coste del equipo.</i>	80
<i>Tabla 12: Coste del software.</i>	80
<i>Tabla 13: Coste de personal.</i>	81
<i>Tabla 14: Coste total del proyecto.</i>	81

Capítulo 1.

Introducción y objetivos

1.1 Resumen

El presente proyecto se engloba dentro del Proyecto IVVI (Intelligent Vehicle based on Visual Information) [1], siendo éste desarrollado en la Universidad Carlos III de Madrid por el Laboratorio de Sistemas Inteligentes, y que tiene como objetivo desarrollar un vehículo inteligente basado en información visual y otros elementos auxiliares. El vehículo tiene que ser capaz de ayudar a la conducción, proporcionando información extra al conductor y protegiendo a los ocupantes del vehículo y al resto de personas que se encuentren en las proximidades del vehículo, resumiendo, que incorpore sistemas que sean útiles para evitar accidentes de circulación. La plataforma base donde se desarrolla el proyecto, es un automóvil de serie de la marca Nissan, modelo Note al cual se le han añadido distintos dispositivos para obtener información de la conducción así como del medio por el que circula. El vehículo es conocido como IVVI 2.0, al ser la segunda plataforma sobre la que se están desarrollando y probando los proyectos de investigación.

El proyecto IVVI se divide en varias secciones con diferentes líneas de investigación trabajando sobre él, siendo algunas de estas investigaciones el diseño de sistemas para la detección de todo tipo obstáculos, reconocimiento de las señales viales, análisis facial del conductor, etc., todas ellas integradas en los conocidos como sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS). El presente proyecto está integrado en el línea de investigación encargado de la detección de obstáculos, y su objetivo principal es la clasificación de las zonas de riesgo que puede presentar un vehículo ante los peatones que circulan por su parte frontal, así como la activación de alertas auditivas y visuales si se detecta una situación de peligro. Además este sistema de clasificación y alerta representa sobre una pantalla instalada en el interior del vehículo la situación de los peatones detectados y las zonas de riesgo que produce el vehículo, siendo todo en tiempo real.

1.2 Introducción

En la actualidad, millones de personas usan el automóvil como medio de transporte para sus desplazamientos diarios, y por desgracia como todos sabemos, también son las causa de miles de accidentes con víctimas. A lo largo de la existencia del automóvil siempre ha sido una prioridad el intentar reducir las víctimas, y según ha ido pasando el tiempo, y con ello el mayor número de usuarios de automóviles, éstas medidas de seguridad se han visto incrementadas.

Para hacernos una idea de la importancia de las medidas de seguridad, a continuación se exponen algunos datos del estudio que realiza la DGT de forma anual en España sobre accidentes de circulación [2]. En ellos se puede observar como a lo largo del último año han resultado víctimas de accidentes de tráfico un total de 122.823 personas, de las cuales 2.478 fueron víctimas mortales. En la tabla 1 se puede ver la evolución de accidentes de tráfico durante los últimos 15 años en España según el parque de vehículos correspondiente.

Años	Parque de vehículos	Accidentes por 10.000 vehículos	Muertos por 10.000 vehículos	Muertos por cada 1.000 accidentes	Heridos por cada 1.000 accidentes	Muertos por 10.000 habitantes
1986	12.284.080	71	4	62	1.564	1,4014
1987	13.068.840	75	4	60	1.562	1,5085
1988	13.881.323	77	5	60	1.551	1,6279
1989	14.870.484	74	5	65	1.543	1,8356
1990	15.696.715	65	4	68	1.532	1,7873
1991	16.528.396	59	4	69	1.513	1,7432
1992	17.347.203	50	3	69	1.489	1,5376
1993	17.809.987	45	4	80	1.466	1,6263
1994	18.218.924	43	3	72	1.449	1,4286
1995	18.847.245	44	3	69	1.453	1,4603
1996	19.542.104	44	3	64	1.451	1,3892
1997	20.286.408	42	3	65	1.455	1,4162
1998	21.306.493	46	3	61	1.449	1,4996
1999	22.411.194	44	3	59	1.461	1,4359
2000	23.284.215	44	2	57	1.472	1,4305
2001	24.249.871	41	2	55	1.490	1,3467
2002	25.065.732	39	2	54	1.493	1,2834
2003	25.169.452	40	2	54	1.507	1,2750
2004	26.432.641	36	2	50	1.472	1,1016
2005	27.657.276	33	2	49	1.456	1,0217
2006	29.054.061	34	1	41	1.437	0,9331
2007	30.318.457	33	1	38	1.418	0,8637
2008	30.969.224	30	1	33	1.406	0,6846
2009	30.855.969	29	1	31	1.416	0,5901
2010	31.086.035	28	1	29	1.407	0,5388

Tabla 1: Tasas de accidentes y víctimas producidos durante los últimos 15 años en España. Fuente DGT [2].

Como se ha podido observar en la tabla 1, el número de accidentes proporcionales al parque de vehículos en España ha disminuido de forma constante año a año y de una forma muy significativa, al igual que el número de víctimas mortales en los accidentes.

En los accidentes de tráfico los peatones son unas de las víctimas más indefensas que puede haber, especialmente en las zonas urbanas. Por ejemplo, de los 550 muertos que se produjeron en zonas urbanas durante el 2010 en España, el 50,4% de ellos fueron muertes por atropello de peatones (278 personas). En carretera, este porcentaje baja considerablemente al 10,01% con 193 muertos por atropello. La evolución de los peatones que han sido víctimas de accidentes de circulación durante los últimos 15 años en España ha sido la siguiente.

Años	CARRETERA			ZONA URBANA			Muertos Totales	Heridos Totales
	Total	Muertos	Heridos	Total	Muertos	Heridos		
1986	3.727	724	3.003	14.582	446	14.136	1.170	17.169
1987	3.614	647	2.967	15.604	433	15.171	1.080	18.138
1988	3.540	655	2.885	16.178	465	15.713	1.120	18.598
1989	3.445	745	2.700	15.541	503	15.038	1.248	17.738
1990	3.232	706	2.526	14.206	480	13.726	1.186	16.252
1991	3.027	615	2.412	13.720	440	13.280	1.055	15.692
1992	2.760	593	2.167	12.039	336	11.703	929	13.870
1993	2.456	607	1.849	11.544	497	11.047	1.104	12.896
1994	2.216	521	1.695	11.765	487	11.278	1.008	12.973
1995	2.228	520	1.708	11.697	480	11.217	1.000	12.986
1996	2.107	504	1.603	11.842	456	11.386	960	12.989
1997	2.120	466	1.654	11.624	501	11.123	967	12.777
1998	2.105	492	1.613	11.798	503	11.296	995	12.909
1999	2.189	458	1.731	10.933	448	10.485	906	12.216
2000	2.088	451	1.637	11.410	447	10.963	898	12.600
2001	1.964	469	1.495	11.094	377	10.717	846	12.212
2002	1.848	433	1.415	11.056	343	10.713	776	12.128
2003	1.860	424	1.436	10.742	363	10.379	787	11.815
2004	1.603	340	1.263	10.518	343	10.175	683	11.438
2005	1.551	348	1.203	10.073	332	9.741	680	10.944
2006	1.552	317	1.235	10.214	296	9.918	613	11.153
2007	1.523	287	1.236	9.906	304	9.602	591	10.838
2008	1.324	236	1.088	9.822	266	9.556	502	10.644
2009	1.247	201	1.046	9.640	269	9.371	470	10.417
2010	1.218	193	1.025	9.705	278	9.427	471	10.452

Tabla 2: Tasas de peatones víctimas en accidentes durante los últimos 15 años en España. Fuente DGT [2]

En ésta tabla 2, también se puede ver el descenso que se ha producido en los últimos años en el número de peatones víctimas, ya sean muertos o heridos, siendo especialmente notable el descenso de víctimas en zonas de carretera. Destacar que en la tabla 2 no se hace mención al parque automovilístico, por lo que los descensos de víctimas se han producido a pesar del gran incremento del parque automovilístico español en los últimos años.

Como conclusión, se puede afirmar que el número de víctimas se ha reducido de forma considerable a lo largo de los últimos años, ya sea en términos totales, o en relativos frente al número de vehículos. Este descenso de víctimas se ha producido entre otros factores, por las mejoras en términos de seguridad que se han introducido en los vehículos en la última década. Como la instalación de sistemas de seguridad en los vehículos está siendo muy efectiva, se

tienen que seguir desarrollando e instalando más y mejores sistemas de seguridad que reduzcan el número de víctimas al mínimo, es una inversión que nos interesa a todos los ciudadanos, ya sea por circular en un vehículo o por ser peatones.

Una vez introducida la importancia de los sistemas de seguridad en los vehículos para reducir el todavía alto número de víctimas que se producen relacionadas con el tráfico, a continuación se introducirá brevemente la situación de los dispositivos de seguridad en los vehículos.

Los primeros sistemas de seguridad vial se desarrollan principalmente en la seguridad pasiva, es decir, no evitan el accidente, pero si reducen los daños. Algunos ejemplos son la introducción de los sistemas de retención de personas, más conocido como cinturón de seguridad, parabrisas con varias capas de cristales y pegados, deformación mecánica del vehículo para la absorción de la energía de choque, incluso algunos ya provistos de sensores y electrónica avanzada como son los airbags. Hasta finales de la década de los 60, los sistemas de seguridad diseñados para evitar que se llegara a producir el accidente, eran sistemas completamente mecánicos, y se basaban en mejorar suspensiones, tracción, frenos, etc. A partir de esta fecha, se empieza a investigar a fondo sobre los conocidos como sistemas de seguridad activa, gracias en parte al desarrollo de la electrónica, la informática y la mejora de sensores. El objetivo de la seguridad activa es conseguir que no se llegue a producir el accidente y con ello evitar daños a las personas y al propio vehículo. Uno de los primeros sistemas verdaderamente útil es la invención del ABS, desarrollado por la marca Bosch en 1970, que permite que no se bloquen las ruedas a pesar de la presión sobre el freno y con ello evitar el deslizamiento del vehículo. Otro sistema activo a destacar también desarrollado por Bosch es el conocido como ESP, el cual detecta una desviación en la trayectoria del vehículo no producida de forma voluntaria, y la corrige frenando las ruedas de forma individual hasta volver a la trayectoria deseada, éste sistema es más actual, ya que se empezó a implementar en los vehículos en 1995.

En la actualidad, la investigación en temas de seguridad en los vehículos se está produciendo en la tecnología conocida como ADAS (Sistemas Avanzados de Ayuda a la Conducción), la cual integra diferentes sistemas y dispositivos. Uno de ellos y quizás el más importante es la fusión de datos de diferentes dispositivos para crear aplicaciones muy fiables que cumplan con los rigurosos requisitos de seguridad, ya que los dispositivos por separado tienen ciertas limitaciones. Estos sistemas ADAS podrían llegar a ser muy útiles sobre todo en entornos urbanos, donde la gran singularidad de los entornos hace necesaria la implementación de varios dispositivos y la fusión entre ellos.

Como el resto de dispositivos de seguridad desarrollados a lo largo del tiempo, los sistemas ADAS se irán implementando en todos los modelos de vehículos, primeramente en vehículos de alta gama, luego a la mayoría de vehículos, y finalizando con la obligatoriedad de la instalación en todos los vehículos. Con ello se irán reduciendo los riesgos que provocan los vehículos, ya sea siendo ocupantes o estando en sus proximidades.

1.2.1 Objetivos a desarrollar

El objetivo principal del proyecto es integrar en un vehículo de pruebas (el IVVI 2.0), un sistema de seguridad ADAS, basado en la fusión de datos de dos sistemas independientes, como son la detección de obstáculos por medio del sensor láser, y la detección de obstáculos por medio de visión por computador. Este sistema de fusión debe ser capaz de detectar y clasificar diferentes obstáculos, entre ellos peatones, con una probabilidad de acierto altísima. Una vez detectados y clasificados los obstáculos deberá ser capaz de avisar o incluso actuar en la medida de lo posible para evitar que se llegue a producir la colisión entre el vehículo y el obstáculo detectado.

En particular éste proyecto de fin de carrera se centra en los peatones como único obstáculo a detectar. Una vez detectada la presencia de uno o varios peatones por medio del sistema de fusión de datos, el primer objetivo es calcular la zona de riesgo en la que se encuentra dicho peatón, dependiendo de la velocidad del vehículo y la posición del peatón. A continuación, según en la zona de riesgo en la que se encuentre se deberá activar un tipo de alarma, sonora y visual, para avisar al conductor del peligro de atropello existente. De forma paralela, se representará en una pantalla instalada en el interior del vehículo la situación de los peatones y las zonas de riesgos que presenten. En ésta pantalla también se mostrarán los posibles avisos visuales de peligro.

Es esencial que todo este proceso se realice en tiempo real, ya que es imprescindible para un sistema de seguridad que no se produzcan retrasos y se den los avisos de peligro de forma instantánea para poder evitar la colisión.

Como objetivos secundarios está el lograr que la representación en la pantalla del vehículo tenga una buena estética, similar a la situación real de la carretera en ese instante, y que aporte otro tipo de información complementaria, como podría ser distancia a peatón más cercano, velocidad del vehículo, etc.

Resumiendo:

- Identificar peatones y su posición respecto al vehículo.
- Desarrollar y clasificar las zonas de riesgo que presenta un vehículo ante los peatones.
- Clasificar en que zona de riesgo se encuentran los peatones.
- Desarrollar un sistema que alerte al conductor de la presencia de peatones y así pueda actuar para evitar la colisión.
- Representar en pantalla las zonas de riesgo y situación del peatón.
- Se produzca todo el proceso en tiempo real.
- La representación de la pantalla tenga buena estética e información adicional.

1.2.2 Fases de desarrollo

El paso inicial consistió en conocer el proyecto global donde se iba a integrar el proyecto presente. En esta fase se descubrió la forma de detectar los peatones, ya fuera por medio del sistema láser o el sistema de visión, y el futuro funcionamiento del sistema de fusión que

integra ambos sistemas. Esta fase ha sido fundamental para conocer los datos que iban a estar disponibles y que se pudieran utilizar para desarrollar el proyecto.

A continuación se buscaron desarrollos semejantes con el proyecto a desarrollar, y que pudieran ser de utilidad para conocer sus ventajas e inconvenientes. Una vez conocidos los desarrollos pasados, y con el conocimiento de por dónde empezar, se comenzó a desarrollar el software propio del proyecto con el programa Visual C++, poniendo a punto e instalando las bibliotecas de desarrollo y programas necesarios.

Posteriormente se estableció un plan de trabajo lógico para ir progresando poco a poco, y sobre todo que se pudiera ir verificando el correcto funcionamiento de cada función, ya que a nivel más bajo, también era más fácil solucionar los posibles problemas. Una vez que todo estuviera correcto se implementaban niveles superiores.

La siguiente fase de desarrollo fue integrar todos los programas entre ellos, y entre el servidor que ofrece la información del coche y el cliente que la recibe. Se continuaron con las pruebas para comprobar el funcionamiento conjunto de la aplicación hasta obtener los resultados deseados, que no siempre fueron correctos a la primera.

Por último, se ha intentado dejar todo el código y su representación con una estética adecuada, facilitando el uso a futuros programadores que puedan utilizar este código.

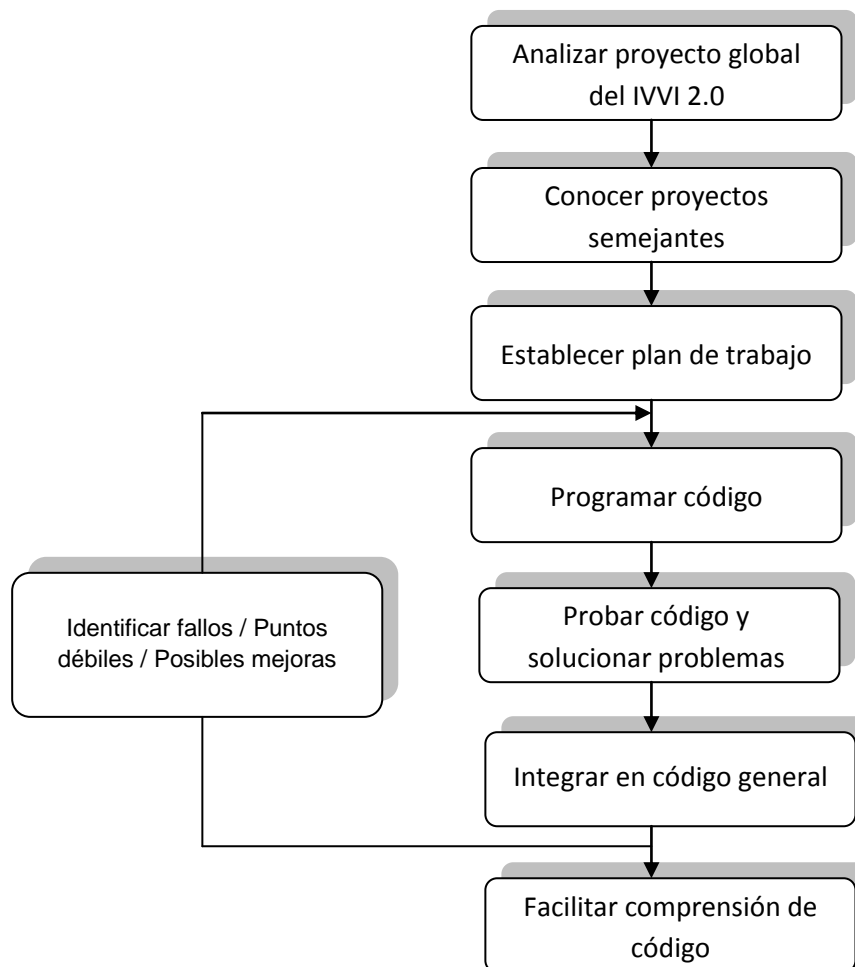


Figura 1: Esquema que muestra las fases del proyecto

1.2.3 Medios con los que se han contado para realizar el proyecto

El principal medio disponible para el desarrollo del proyecto ha sido la plataforma de pruebas del departamento de sistemas inteligentes de la UC3M, el vehículo IVVI 2.0, con todos los sensores y dispositivos instalados en él, siendo básicos los datos que ha proporcionado en las pruebas realizadas en él. Los dispositivos más significativos para el desarrollo del proyecto son:

- **Láser escáner:** Usado en la detección de obstáculos y su posición exacta en la que se encuentran, pero con limitaciones al tratarse de sistema 2D.
- **Cámara estereoscópica:** Para detectar obstáculos por medio de la visión por computador y que ayuda a superar la falta de información suministrada por el láser.
- **GPS:** Dispositivo necesario para conocer la velocidad exacta del vehículo y su posición. Utilizado para el cálculo de las zonas de riesgo.

También están instalados los sistemas de alarma y aviso, compuestos por una pantalla integrada en el habitáculo y un altavoz. El funcionamiento detallado de estos dispositivos se explicará en el capítulo 3.

Estos dispositivos son imprescindible para identificar los obstáculos y su posición, pero en este proyecto en concreto, ésta información ya es recibida de forma efectiva después de haber sido tratada en otras fases del proyecto global y gracias al trabajo de otros compañeros, por lo cual, los recursos utilizados han sido sobre todo de tipo software, al tratarse de un proyecto de implementación de código, y se podrían considerar éstos medios utilizados al lenguaje de programación C++ y el software utilizado para programar, que ha sido Microsoft Visual C++.

Gracias a éste software y al vehículo de pruebas con sus dispositivos, se pueden probar los diferentes algoritmos en situaciones reales y se comprueba el funcionamiento de la detección de obstáculos de una forma fiable y real.

1.2.4 Estructura del documento

El presente documento se divide en nueve capítulos, para facilitar la lectura de la memoria, se incluye a continuación un breve resumen de cada capítulo.

- **Capítulo 1. Introducción y objetivos.** Como se ha podido ver, en este capítulo se presenta el proyecto desarrollado, así como las motivaciones para llevarlo a cabo, realizando una breve introducción sobre la necesidad de investigar en dispositivos de seguridad para reducir las víctimas de accidentes de tráfico.
- **Capítulo 2. Estado del arte.** Se mostrará la importancia de los dispositivos de seguridad en los vehículos, así como los más representativos desarrollados hasta el momento.
- **Capítulo 3: Descripción del Hardware y Software del equipo.** En este capítulo se explican las características técnicas, así como el principio de funcionamiento que tienen los equipos utilizados para el desarrollo del proyecto. Para facilitar la comprensión de las descripciones se han dividido los equipos en dos grandes bloques, los equipos de hardware y los de software.

- **Capítulo 4: Desarrollos previos.** En él se mostrarán y explicarán brevemente trabajos realizados previamente por otros compañeros, como el funcionamiento de los sistemas de detección, y de los que gracias a ellos se han podido obtener datos imprescindibles para poder continuar desarrollando este sistema de seguridad.
- **Capítulo 5: Desarrollo de la aplicación.** En esta capítulo se explicaran los cálculos teóricos utilizados para el desarrollo del proyecto.
- **Capítulo 6: Implementación.** Capítulo donde se explica por medio de esquemas y de forma teórica los pasos seguidos y la forma utilizada para programar el código del sistema. También se explicarán algunas características del por qué usar unos métodos u otros
- **Capítulo 7: Resultados.** Se podrán ver los resultados de todas las pruebas realizadas a lo largo del proyecto, como son el comprobar el funcionamiento en tiempo real, o la correcta activación de las alarmas cuando un peatón o varios se encuentran en un zona de peligro
- **Capítulo 8: Conclusiones y trabajos futuros.** En este capítulo se presentan las conclusiones generales obtenidas tras el desarrollo del proyecto y la realización de las pruebas, así como las futuras líneas de trabajo orientadas a mejorar y ampliar las prestaciones desarrolladas hasta el momento.
- **Capítulo 9: Presupuesto.** Se muestra el presupuesto necesario para poder llevar a cabo el proyecto

Capítulo 2.

Estado del arte

2.1 Introducción

Desde la existencia de los automóviles, la seguridad ha sido un tema que siempre se ha tenido en cuenta, si bien es cierto, que según épocas se ha trabajado más o menos en ella. En los últimos años es un objetivo prioritario para los fabricantes de automóviles, ya que los ciudadanos cada vez están más concienciados en temas de seguridad vial, y las marcas lo utilizan como un elemento diferenciador entre sus modelos. Otro de los factores para la inclusión de los elementos de seguridad en los vehículos han sido las normativas de los diferentes gobiernos, que obligan a cumplir unos requisitos mínimos de seguridad en diferentes test. Esta seguridad puede ser tanto pasiva como activa, y cada vez más se obliga a los fabricantes a que incorporen los sistemas activos al ser los más novedosos, y que en el futuro, serán los sistemas ADAS, ya que está comprobada su eficacia para reducir el número de víctimas provocadas en accidentes de circulación.

A continuación se describirán los sistemas de seguridad conocidos como ADAS, que significa en sus siglas en inglés “*Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor*”. Nos centraremos en este tipo de sistemas ya que el proyecto presente se integraría en este tipo de sistemas de seguridad, y porque es el sector en el que más se está trabajando en la actualidad y se espera que sea el mayor desarrollo de seguridad para el futuro cercano.

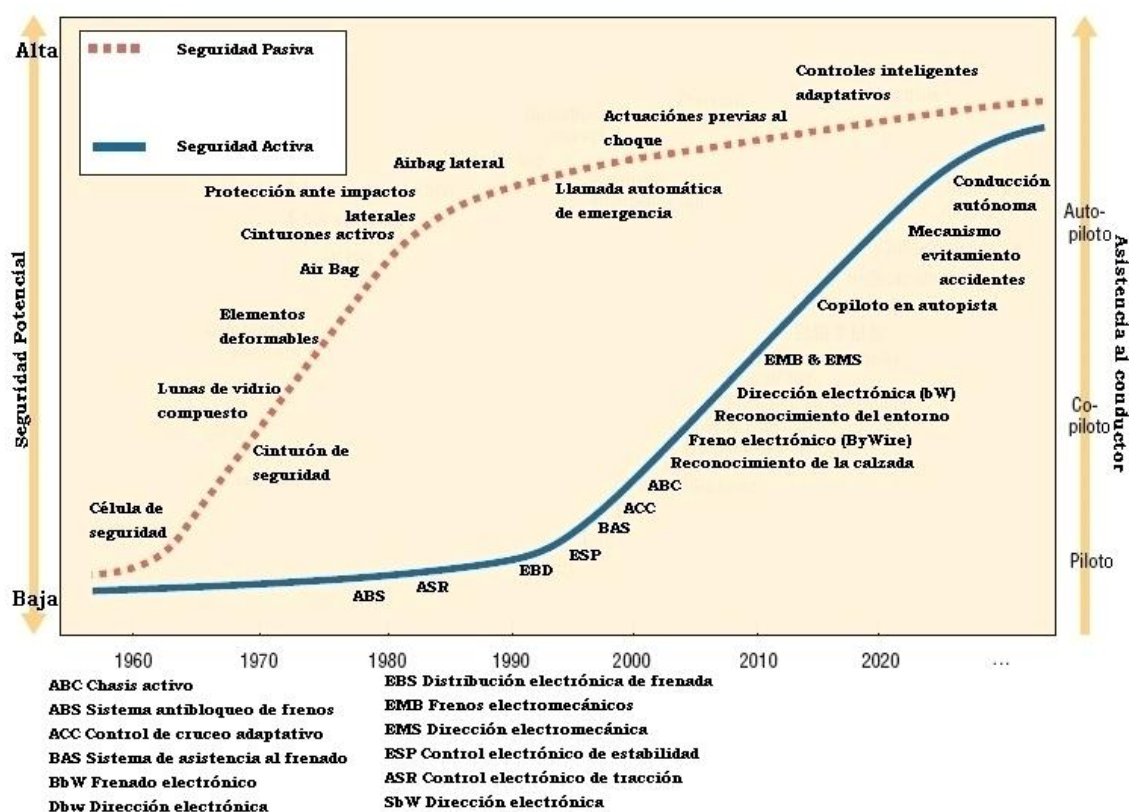


Figura 2: Evolución de los sistemas de seguridad frente a la asistencia del conductor y la seguridad potencial

2.2 Sistemas ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*)

La asistencia al conductor busca incrementar la seguridad global (tanto activa como pasiva) y aumentar las capacidades de respuesta en la conducción. Los sistemas avanzados de asistencia a la conducción engloban una serie de sistemas con diferentes funcionalidades, como pueden ser: navegación, control de la velocidad, ayuda a la conducción, aparcamiento automático, aviso de colisiones, etc.

La implementación de estos sistemas en los vehículos es reciente, aunque existe un incremento de manera muy importante en la actualidad. Se podría considerar que el primer sistema ADAS integrado en un vehículo de serie fue el “*Adaptive Cruise Control*” en 1995, y que fue incorporado en un vehículo para el mercado japonés. Este dispositivo consiste básicamente en controlar la velocidad del vehículo según la distancia de seguridad con el vehículo precedente. En Europa se podía ver por primera vez en 1999 en la *Clase S* de Mercedes-Benz. Estos primeros dispositivos se empezaron a instalar solamente en coches de gama alta y a precios elevados, pero en la actualidad cada vez es más común que se integren en vehículos de clase media, y se espera que en los próximos años la instalación tenga una crecida casi exponencial, ayudando a reducir los accidentes de tráfico y las consecuencias que estos provocan sobre las personas.

A continuación se explicarán de forma cronológica a su incorporación en vehículos de serie algunos de los sistemas ADAS que podemos encontrar en los vehículos actuales, o que se están desarrollando actualmente.

2.2.1 Control de Crucero Adaptativo, *Adaptive Cruise Control* (ACC)

Como ya se ha comentado anteriormente, el sistema fue diseñado en 1995, por el fabricante de vehículos Mitsubishi. El funcionamiento del *Adaptive Cruise Control* consiste en el control automático de la velocidad del vehículo, y dentro de ciertos límites, mantiene automáticamente la distancia correcta con respecto al vehículo precedente para evitar la colisión. El sistema utiliza una videocámara y un sensor láser para medir la distancia con respecto al vehículo precedente, si la distancia es demasiado pequeña, el sistema reduce moderadamente la velocidad cortando el suministro de combustible o activando automáticamente los frenos, hasta aproximadamente un 25% de la deceleración máxima del vehículo. Una vez despejada la carretera, vuelve a acelerar al automóvil hasta la velocidad previamente ajustada. Si el proceso de frenado no decelera el vehículo en la medida suficiente, se emite inmediatamente una señal acústica para conminar al conductor a intervenir manualmente o prepararse para la colisión. Cada fabricante de vehículos tiene configurada su propia peculiaridad de funcionamiento para la dinámica de marcha, como por ejemplo que el usuario pueda escoger entre cuatro programas: *Distancia 1* (deportivo), *Distancia 2* y *3* (estándar) y *Distancia 4* (confortable). El programa *Distancia 1* mantiene una distancia corta con respecto al vehículo precedente y en cuanto se despeja la carretera vuelve a acelerar rápidamente hasta la velocidad de crucero ajustada. Los programas *Distancia 2* y *Distancia 3* permiten al vehículo seguir ágilmente el flujo del tráfico. El programa *Distancia 4* se utiliza en caminos vecinales y cuando se arrastra un remolque. Aunque esté activado el adaptive cruise control, el conductor sigue siendo responsable de controlar la velocidad de su vehículo y la distancia con respecto al vehículo precedente. Este sistema no reacciona a objetos fijos ni a

vehículos que circulan en sentido contrario, y se puede conectar o desconectar cuando se desee.

El funcionamiento técnico de este sistema se basa en la fusión de datos de dos dispositivos, un láser y una videocámara. El láser detecta la distancia del obstáculo con un alcance máximo de 130 metros, y se complementa con la visión por computador con una videocámara capaz de diferenciar los obstáculos a aproximadamente 50 metros, distancia variable según las condiciones meteorológicas. Con este sistema de fusión se consigue una eficiencia óptima y un rechazo a falsos obstáculos como pudieran ser coches en el carril contrario, o vehículos aparcados. También existen otros tipos de funcionamiento solamente con el dispositivo láser, pero no son tan fiables al depender del reflejo del láser, y este poder variar por ejemplo según las condiciones meteorológicas como la niebla.

El sistema ha ido mejorando con el paso del tiempo, ya que en un principio solo estaba diseñado para una gama de velocidades limitada, o cuando detectaba la posible colisión con el vehículo precedente usaba todo el potencial de frenado hasta detener el vehículo. En sus inicios tampoco estaba recomendado su uso en carreteras sinuosas, ni con condiciones climatológicas adversas como pudiera ser niebla o lluvia intensa. Incluso en la actualidad en alguna ocasión puede tener sus limitaciones por este hecho. También se ha mejorado la velocidad de respuesta del sistema, entre otras, por el hecho de detectar el encendido de las luces de freno del vehículo precedente.

2.2.2 Sistema de aviso de cambio involuntario de carril (LDWS)

Este sistema se encarga de vigilar que el vehículo permanezca dentro del carril deseado y avisar al conductor si se sale o está a punto de salirse de dicho carril. Los sistemas LDWS comercializados actualmente son sistemas avanzados, basados en la visión y que usan algoritmos para interpretar imágenes de vídeo y calcular la posición del vehículo (posición lateral, velocidad lateral, rumbo, etc.) y la alineación de la calzada (anchura del carril, curvatura de la carretera, etc.). Otra variante del sistema utiliza sensores infrarrojos, ubicados en zonas que permitan ver las líneas de la carretera (por ejemplo debajo del parachoques delantero o en la parte inferior de los espejos retrovisores exteriores), estos emiten un pulso de radiación infrarroja de forma que el haz reflejado en el asfalto es detectado por la célula de recepción. La diferente reflectividad producida por las líneas de la carretera permite que sean fácilmente detectadas. El LDWS avisa al conductor del cambio de carril cuando el vehículo supere una determinada velocidad y no esté activado el intermitente. Otro factor que se tiene en cuenta es si la línea de la carretera es continua, si es así, avisa al conductor cuando la sobrepasa ya que se podría estar invadiendo el carril contrario en una zona de riesgo o saliéndose el vehículo de la calzada, por ejemplo provocado por una distracción o la somnolencia del conductor. Además, este sistema informa al conductor en caso de no poder detectar los carriles o mal funcionamiento del sistema.

Este sistema se desarrolló por Nissan Motors en 2001, incorporándolo en su modelo japonés Cima. Sin embargo a Europa llegó de la mano de los camiones con la marca Mercedes-Actros, ya en 2004. En vehículos comerciales europeos, se comenzó a ofrecer en el 2005, con la marca Citroën en sus modelos C4, C5 y C6, y avisando al conductor del cambio de carril por

medio de un sistema de vibración incorporado al asiento del conductor. Hoy en día, la mayoría de las marcas ya sean de gama alta o media, lo ofrecen como extra en sus vehículos.

a)



b)



Figura 3: Ejemplos de sistemas LWDS. a) Por medio de videocámara y b) por sensores infrarrojos

2.2.3 Visión Nocturna

La mayor parte de accidentes y atropellos en las carreteras se producen por la noche, de ahí la ley que desde 2002 obliga al conductor a utilizar el chaleco reflectante al bajarse del vehículo en cualquier tipo de situación, y que cualquier persona que circule andando o en bicicleta por una carretera deba de usarlo siempre.

Con las luces de cruce normales, cuando es de noche la visibilidad para el conductor se reduce a unos 40 metros y la percepción de la profundidad y el color disminuye, lo que lleva a detectar los obstáculos y peligros demasiado tarde. Las luces largas deslumbran a los coches que vienen de frente, y por ello su utilidad es limitada. Un sistema de visión nocturna mejora la visibilidad gracias a unos sensores de infrarrojos de gran alcance, cuyo rango es equivalente al de las luces largas. El sistema no deslumbra al tráfico de frente, ya que los infrarrojos son invisibles para el ojo humano. La escena iluminada se muestra al conductor en una pantalla especial que ofrece una mejor visión de la carretera, incluidos otros vehículos y obstáculos distantes, y por consiguiente, el conductor puede detectar situaciones peligrosas con mayor antelación y reaccionar con mayor rapidez. Incluso algunos sistemas ya son capaces de reconocer obstáculos por medio de la visión por computador, y así poder avisar al conductor cuando se detecte el obstáculo. Un complemento para este sistema es el uso de cámaras térmicas para reconocer sin ningún tipo de error a peatones o animales que se encuentren en la calzada, incluso si las condiciones atmosféricas impiden una visibilidad clara. Además también incorporan en pantalla el “panning”, (sector de visualizado en pantalla que se adapta exactamente al trazado de la carretera) y zoom (para que los objetos lejanos pueden ser reproducidos de forma ampliada a una gran velocidad).

Según los estudios realizados, éste sistema permite una ventaja en el tiempo de reacción de hasta cinco segundos respecto a la detección de objetos con las luces de carretera tradicionales, lo que sin duda puede ser muy efectivo a la hora de evitar un accidente.

El principal enemigo del sistema son las gotas de lluvia o la niebla, por eso se incorporan con limpiaparabrisas y una calefacción desempañante de la óptica. El inconveniente de las cámaras térmicas es su elevado precio, y que todavía existen reticencias con algunos

gobiernos, como el de Estados Unidos, que lo ven como un peligro al ser fácilmente manipulable y que podría usarse con fines terroristas.

Al igual que en la mayoría de los sistemas ADAS, las marcas que más han trabajado en el desarrollo han sido las consideradas de gama alta. El primer sistema de visión nocturna que se pudo ver en un modelo de serie fue en los vehículos de la *Clase S* del fabricante Mercedes, y se pudo ver por primera vez en las calles en julio de 2005. El sistema desarrollado por la marca se basa en cámaras infrarrojas con un alcance aproximado de 150 metros. Sin embargo, el mayor avance en estos sistemas lo introdujo BMW solo un mes después, ya que incorporó la comentada cámara de radiación térmica de largo alcance, aumentando la visibilidad hasta los 300 metros, y con la ventaja añadida de identificar a peatones y animales de una forma increíblemente efectiva. Los modelos de la marca alemana que incorporan este sistema son los de la *Serie 7*, la consideraba gama más alta de sus productos.

a)



b)



Figura 4: Visión nocturna por medio de infrarrojos (a) y por cámara térmica (b).

2.2.4 Detección de obstáculos en el ángulo muerto

Se conoce como ángulo muerto a una zona lateral del vehículo que no se puede llegar a ver por el espejo retrovisor dada la cercanía de esta zona con el vehículo y por la geometría del espejo. Además al no llegar a sobrepasar al vehículo que se conduce tampoco es detectada de forma visual por el conductor (ver figura 5, donde las zonas marcadas de color rosa corresponderían al ángulo muerto). Esta zona puede resultar muy peligrosa cuando un conductor va a cambiar de carril, y al mirar por el espejo retrovisor no divisa por ejemplo a otro vehículo que se encuentra en el ángulo muerto, por lo que el conductor realiza el giro confiado de que no hay un vehículo en sus proximidades, y se puede llegar a producir el accidente.

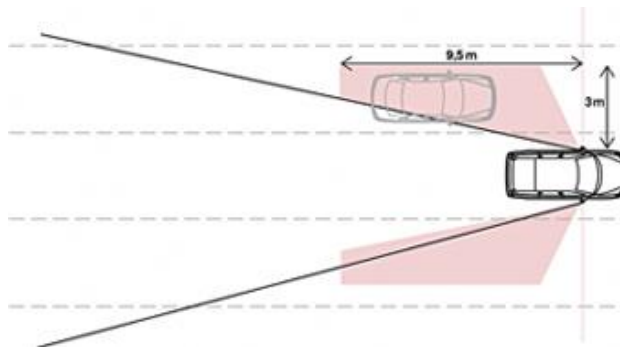


Figura 5: Zonas de ángulo muerto que se crean en el espejo retrovisor de un vehículo

Existen sistemas que pueden alertar de forma continua de la existencia de vehículos en el ángulo muerto independientemente de las intenciones del conductor, mientras que otros únicamente actúan cuando se expresa la voluntad de efectuar un cambio de carril mediante el uso del intermitente. Con el objetivo de minimizar las falsas alarmas, generalmente actúan por encima de un umbral de velocidad determinado y son capaces de realizar un filtrado de vehículos estacionados o de aquellos que circulan en sentido contrario. La zona de detección es unos 10 metros por detrás del espejo retrovisor por unos 4 de anchura, suficiente para cubrir el ángulo muerto.

El primer vehículo en integrar el sistema de detección de objetos en ángulo muerto fue el Volvo XC90 (en otoño del 2005), utilizando para ello un par de cámaras CMOS integradas en los espejos retrovisores exteriores.

El **asistente para cambios de carril** es un sistema que amplía las posibilidades de funcionamiento del sistema de detección de objetos en ángulo muerto. La distancia de detección aumenta hasta 50 ó 60 metros por detrás del vehículo y en los carriles adyacentes al mismo y teniendo en cuenta además, la velocidad relativa del vehículo detectado en dicha zona con respecto al propio. De esta forma, se está en disposición de alertar al conductor en caso de existir un cierto riesgo al efectuar la maniobra de cambio de carril debido a la aproximación de otro vehículo a gran velocidad (ver figura 6). En función de diversos parámetros, se pueden establecer diversos niveles de alerta.

El Audi Q7 fue el pionero en la utilización de un sistema de asistencia al cambio de carril, mediante el uso de dos radares de medio alcance ubicados en las esquinas del paragolpes posterior.

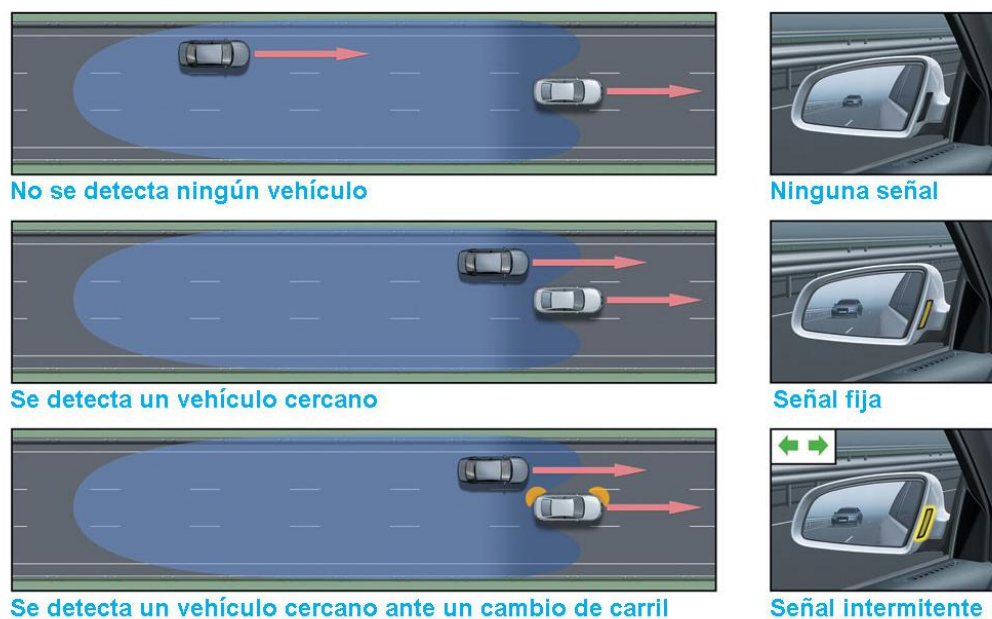


Figura 6: Funcionamiento del sistema de asistencia al cambio de carril

2.2.5 Sistemas de detección de fatiga y somnolencia del conductor

En muchos casos el propio conductor aunque es consciente de su cansancio, infravalora el riesgo de quedarse dormido al volante, cuando tan sólo un segundo de sueño puede derivar en un accidente de graves consecuencias. Si un conductor no circula lo suficientemente atento o cuando se está quedando adormilado, presenta una serie de indicios en su conducción y en sus rasgos faciales. Los sistemas de detección de fatiga reconocen estos indicios y advierten al conductor de la situación de riesgo con la suficiente antelación.

Actualmente existen dos tipos de sistemas de detección de la fatiga del conductor diferenciados según el tipo de datos que dichos sistemas utilizan para establecer que la conducción se está realizando sin la concentración adecuada o con el conductor bajo un estado de somnolencia. Por un lado se encuentran aquellos sistemas que monitorizan el entorno del vehículo y los parámetros de conducción y por otro lado aquellos sistemas que directamente monitorizan los rasgos faciales del conductor.

Los sistemas basados en el análisis de los parámetros de conducción analizan el comportamiento de conducción del conductor para crear un perfil específico de dicho comportamiento. Entre los parámetros que normalmente se comparan de forma constante con el perfil de conducción se encuentran la velocidad del vehículo, su aceleración longitudinal y transversal, el no sobrepasar la línea de carril, los movimientos del volante, la utilización de intermitentes, el uso de los pedales de aceleración y freno, etc. Los conductores que se encuentran en condiciones de fatiga realizan movimientos de corrección de la dirección muy característicos, capaces de ser interpretados por los distintos sensores del vehículo. Los datos recogidos por los distintos sensores permiten que la unidad de control cree el perfil de conducción del conductor durante los primeros minutos del viaje. Posteriormente los datos de los sensores son recogidos por esta unidad electrónica de control, que los compara con el perfil creado y establece de esta forma si la conducción se está desarrollando bajo los efectos de la fatiga, y en caso afirmativo, alertar al conductor de la situación mediante un aviso tanto visual como acústico.

El otro tipo de sistema de detección de fatiga se basa en la monitorización de los rasgos faciales del conductor, interpretando el movimiento de sus ojos y su velocidad de parpadeo como datos para la detección de la fatiga. En estos sistemas se suelen utilizar microcámaras de infrarrojos instaladas en el interior del vehículo y dirigidas hacia la cara del conductor, o incluso solo a sus ojos. Las imágenes obtenidas de las cámaras son analizadas en la correspondiente unidad electrónica de control para determinar si el conductor muestra síntomas de fatiga o desatención a la conducción. La utilización de cámaras infrarrojas permite que el sistema funcione correctamente independientemente de las condiciones de iluminación del habitáculo. Estos sistemas permiten distinguir entre la conducción bajo los efectos de la fatiga y la conducción con falta de atención. En el primer caso el dato fundamental a medir es la frecuencia del parpadeo del conductor o incluso los bostezos, de forma que cuando se detecta que ésta se corresponde con un patrón definido asociado a la somnolencia, se produce la alerta al conductor por medio de una señal acústica. Para la detección de una conducción desatenta, el sistema utiliza principalmente como dato la dirección hacia la que se encuentran dirigidos los globos oculares. En el caso de que el conductor no dirija su mirada hacia la zona frontal del vehículo, el sistema detecta este hecho e inicia un contador para establecer el

tiempo en que la mirada no se encuentra dirigida hacia la carretera. Si el tiempo transcurrido es lo suficientemente elevado (normalmente un par de segundos), el sistema alerta al conductor de la desatención, como por ejemplo con una vibración del asiento. La precisión de las cámaras es lo suficientemente elevada como para permitir que el sistema distinga cuando el conductor se encuentra mirando a los espejos retrovisores o cuando dicho conductor gira la cabeza para ver mejor en una intersección, y en ese caso, el tiempo dado antes de emitir la señal es más elevado.

Es este último tipo de detección visual el que más se está desarrollando actualmente, al no ser necesarios tantos sensores, solamente una microcámara, y ser al menos igual de eficaz que el primero explicado. Un ejemplo de este tipo de sistemas es el “*Driver Attention Warning System*”, desarrollado por Siemens, o también el “*Driver Monitoring System*” desarrollado por Toyota y Lexus, siendo éstas las dos únicas marcas que los ha incluido en algún modelo de serie, como son el Lexus *LS 600h* y otros modelos desde 2007, y por parte de Toyota en *Crown Hybrid* a partir de 2008.

En la universidad Carlos III de Madrid también ha sido desarrollado un sistema de detección de somnolencia [3] similar al explicado en este apartado, y que está basado en el análisis del comportamiento facial del conductor para identificar la fatiga o la somnolencia por medio de una microcámara integrada en el salpicadero del vehículo. Este sistema se encuentra instalado en el propio vehículo de pruebas IVVI.

2.2.6 Sistema de detección de señales, *Traffic Sign Recognition (TSR)*

Como su propio nombre indica, ésta tecnología consiste en detectar las señales de tráfico presentes en entorno viales. Los primeros sistemas de detección de señales de tráfico fueron desarrollados por la cooperación de Mobileye y Continental AG, y se pudieron ver instalados en vehículos de serie en 2008, concretamente estaba disponible para la *Serie 7* de BMW, y solo al año siguiente también se podía ver en la *Clase S* de Mercedes-Benz. Esta primera generación solo detectaba las señales de límites de velocidad, y se considera que la segunda generación llegó de la mano de Opel a finales de 2009, con su modelo *Insignia*. La novedad del dispositivo introducido por Opel consiste en la detección de otro tipo de señales aparte de las del límite de velocidad, como puede ser el fin de zona de adelantamiento.

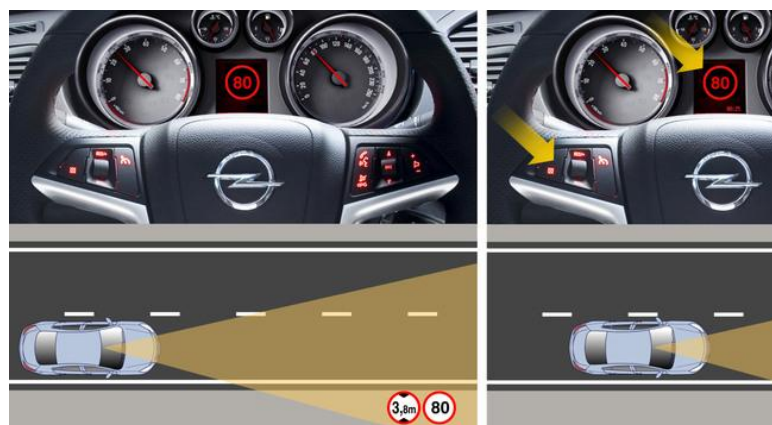


Figura 7: Ejemplo de funcionamiento del sistema de detección de señales

Al igual que el resto de dispositivos ADAS, su función es la de mejorar la seguridad vial por medio de la ayuda al conductor. El sistema funciona gracias a una cámara situada en la parte frontal del vehículo, que va procesando en tiempo real las imágenes captadas hasta detectar la señal de tráfico, cuando esto sucede la muestra en una pantalla incorporada en el habitáculo del vehículo y visible por el conductor. Aparte de mostrarla por pantalla este dispositivo también puede dar otro tipo de avisos, como pudieran ser una alarma acústica si se circula a una velocidad superior a la indicada por la señal de tráfico. Existen diferentes configuraciones para dar prioridad a los distintos tipos de señales.

Al igual que el sistema explicado anteriormente, en la universidad Carlos III de Madrid, también se ha desarrollado este dispositivo en el vehículo inteligente IVVI.

2.2.7 Detección de obstáculos

Esta innovación se basa en la detección de diferentes obstáculos, como puede ser el vehículo que nos precede, un peatón, o una roca en el camino. Este sistema se encuentra en la actualidad en pleno desarrollo, siendo diferentes marcas las que están probando e incluso algunas de ellas ya han conseguido incorporarlo a sus modelos de gama alta.

La detección de obstáculos puede estar integrada por diferentes sistemas o incluso la fusión entre ellos, siendo los más utilizados la visión estereó y el láser. La visión utiliza técnicas de procesamiento de imagen para la detección de los obstáculos, pero tiene algunas limitaciones como la falta de visibilidad producida por las condiciones meteorológicas, falsas detecciones creadas por sombras indeseadas, o el no saber de forma eficiente la distancia a la que se

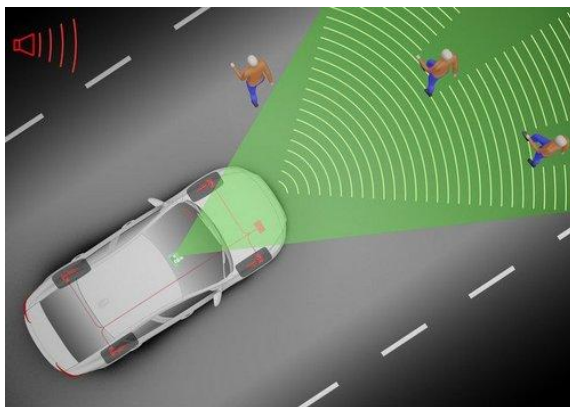


Figura 8: Sistema de detección de obstáculos por medio de fusión de datos entre láser y visión

encuentra el obstáculo. También se ha experimentando con cámaras infrarrojas y térmicas para poder tener visión nocturna y que la detección sea más eficiente. El láser suple en parte las limitaciones de la visión, ya que detecta la distancia a la que se encuentra el obstáculo, y con diferentes algoritmos puede distinguir el tipo de obstáculo. Teniendo como limitación principal el láser que solo trabaja en 2D, no es efectivo para saber el volumen del obstáculo, ni para confirmar al cien por cien la naturaleza de obstáculo. El sistema más

efectivo parece ser la fusión del láser con la visión, ya que se complementan a la perfección los dos sistemas. Es éste el sistema que se está desarrollando en el conjunto global donde se integra el presente proyecto.

El procedimiento de actuación del sistema de detección de obstáculos es similar al de otros sistemas ADAS, ya que cuando detecta un peligro avisa al conductor por medio de señales acústicas o visuales, y si el conductor no reacciona lo suficientemente rápido, la tecnología manda la orden de frenar el coche o al menos de reducir la velocidad para evitar la colisión.

Como se comentaba antes, es un sistema en pleno desarrollo, pero ya se están viendo las primeras generaciones en algunos modelos de serie. El primer fabricante en incorporarlo ha sido Volvo, en el modelo S60 a partir de febrero de 2010, y en la actualidad ha informado que pronto esperan incorporar sistemas de segunda generación capaces de detectar más variedad de obstáculos, como son los animales. El inconveniente de este sistema que solo funciona en condiciones de visibilidad buena, y lo que es más restrictivo aún, que solo funciona a velocidades inferiores a 35km/h.

2.2.8 Seguridad en intersecciones

El objetivo de este sistemas es reducir (y a largo plazo evitar) las colisiones que se producen en las intersecciones, sobre todo enfocado a las colisiones laterales, que son las más comunes por la falta de visibilidad.

Se trata de un proyecto que todavía no ha podido ser comercializado, y aunque está muy avanzado en su desarrollo todavía siguen abiertas algunas investigaciones para que sea completamente óptimo. Hay varias marcas trabajando en su desarrollo, pero la que mejores resultados ha obtenido es una unión de varios fabricantes de vehículos (BMW, VW, PSA y RENAULT) e instituciones (INRIA, IKA, FCS, Signalbau Huber) conocido como proyecto INTERSAFE. El proyecto inicial comenzó en febrero de 2001, de 2004 a 2008 se amplió con la versión 2.0, y en la actualidad se encuentra en desarrollo la versión 3.0.

Para validar la teoría y probarla en situaciones de tráfico real se instaló el sistema en un vehículo de pruebas de la marca WV *Phaeton*, en esta plataforma se instalaron dos escáneres láseres (integrados en la esquina izquierda y derecha delantera del vehículo), una cámara de video y un sistema de comunicación. Como ya se ha explicado en otros sistemas ADAS, la detección del entorno viario y de los obstáculos se produce por la fusión de información dada por la visión y los láser, y con los datos obtenidos se hace una evaluación dinámica de los riesgos. Esta evaluación se basa en el seguimiento y clasificación de objetos, comunicación con la gestión del tráfico y de los propósitos del conductor. Como resultado de la dinámica de evaluación de riesgos, pueden ser identificados los posibles conflictos con otros usuarios de la carretera y la gestión de tráfico. Cuando se detecta un peligro, el conductor es avisado, o el sistema interactúa con el vehículo para evitar la colisión.

Los resultados de las fases de evaluación son bastante esperanzadores. Ya que las pruebas de ensayo han indicado que el asistente de intersección tiene una tasa de alarma correcta del 93% en escenarios de giro a la izquierda y el 100% en escenarios laterales.

2.2.9 Comunicación entre vehículos (V2V)

La comunicación entre vehículos es una de las áreas de trabajo más innovadoras en la actualidad y de la que se espera que tenga un gran desarrollo en los próximos años, ya que podría ser útil para varios sistemas de seguridad a la vez. Esta tecnología estaría integrada en todo tipo de vehículos, como motocicletas, automóviles, etc., y su principio de funcionamiento es un sistema que se encarga del envío de información desde el propio vehículo a los alrededores avisando de sus presencia (con sus características de velocidad, posición, trayectoria, etc.), y que a su vez se encuentra en modo escucha por si algún otro vehículo se encuentra en las proximidades y así recibir su información.

Este sistema podría ser muy efectivo ya que englobaría varios sistemas ADAS a la vez, como puede ser la seguridad en intersecciones, presencia de vehículo en ángulo muerto, evitar colisión con vehículo precedente por velocidad inadecuada, aviso de vehículo averiado en una zona de baja visibilidad, aproximación de vehículo en una carretera estrecha después de una curva, etc. Como se puede ver, se trataría de un sistema muy versátil y bastante útil.

Una posible segunda generación de este sistema sería la comunicación entre vehículos y el entorno viario, como podría ser la interacción entre vehículo y semáforo, así cuando el semáforo se encuentre en rojo en una intersección, avise al conductor para que no le rebase.

En esta tecnología están trabajando varias empresas, como Siemens, y fabricantes de vehículos como Ford y BMW. Actualmente el sistema se encuentra en proceso de estandarización en lo relativo a protocolo y a banda de frecuencias a emplear para la comunicación entre vehículos.



Figura 9: Situaciones de peligro que se evitarían con el sistema V2V

2.2.10 Sistemas de control global

Al igual que en el sistema V2V, en la actualidad se están desarrollando sistemas que unifiquen diferentes sistemas ADAS, y con ello conseguir simplificar el uso de todos ellos aprovechando sus distintos dispositivos en conjunto, además mejorarían el aviso al conductor o la reacción del coche frente al peligro. Uno de los ejemplos más claros de esta línea de trabajo es el sistema que está desarrollando BMW conocido como *ConnectedDrive*. El sistema se basa en dar toda la información necesaria sobre el parabrisas, para que el conductor no tenga que retirar la mirada de la carretera. Algunos de los sistemas ya desarrollados e integrados en el *ConnectedDrive* son el *Side View*, que permite aumentar la visión de los laterales delanteros, ideal para salir de un garaje a la acera sin visibilidad, la visión nocturna, Adaptive Cruise Control, detección de obstáculos, sistema de control de cruces, aviso de cambio de carril, y un largo etcétera preparado para su integración en el sistema.

Todas estas aplicaciones utilizan los mismos sensores láser, videocámaras, infrarrojos, etc., por lo que optimizan estos dispositivos aumentando su utilidad, y sin la necesidad de tener que incluir más, lo que haría aumentar su precio y la complejidad de todo el sistema.

Sin duda, la integración de los sistemas ADAS en un sistema global aumentaría la seguridad de los ocupantes del vehículo y del resto de personas que se encuentren en las proximidades.

Capítulo 3.

Descripción del Hardware y Software del equipo

3.1 Introducción

Para el desarrollo del proyecto del vehículo inteligente de la UC3M y las aplicaciones que en él se están implementando, ha sido necesaria la instalación de un completo equipo de dispositivos y de un sistema de procesamiento de datos, que fueran capaces de proporcionar información sobre el comportamiento del propio vehículo y del entorno viario por el que circula. Como el objetivo principal es conseguir el desarrollo de sistemas de seguridad para la posterior instalación en vehículos que circulen por carreteras abiertas al tráfico común, estos equipos instalados tienen que tener cumplir con unos requisitos mínimos que garanticen el correcto funcionamiento en cualquier situación, ya que de lo contrario, en vez de aumentar la seguridad de los vehículos podrían ocasionar el efecto contrario.

En este capítulo se explican las características técnicas, así como el principio de funcionamiento que tienen los equipos utilizados para el desarrollo de este proyecto. Para facilitar la comprensión de las descripciones se han dividido los equipos en dos grandes bloques, los equipos de hardware y los de software.

3.2 Vehículo de pruebas IVVI 2.0

La plataforma de pruebas utilizada para el desarrollo del proyecto es la conocida como IVVI 2.0 (Intelligent Vehicle based on Visual Information), desarrollado por el Laboratorio de Sistemas Inteligentes (LSI) de la Universidad Carlos III de Madrid, y que tuvo como antecedente el modelo 1.0. Esta plataforma consiste en un automóvil de serie de la marca *Nissan*, modelo *Note*, se trata de un vehículo de gama media homologado para circular por carreteras abiertas al tráfico y que al tratarse de un vehículo al alcance de cualquier usuario es una plataforma idónea en la que probar todos los dispositivos.

Gracias a este vehículo de pruebas homologado se pueden probar en situaciones reales de circulación todos los sistemas que se están desarrollando en el marco de este proyecto, y poder comparar los resultados teóricos con los prácticos. Estas pruebas sobre el vehículo y en condiciones reales de tráfico son esenciales para verificar el correcto funcionamiento de los sistemas, ya que suelen ser sistemas de seguridad en los que se necesita una certeza casi absoluta de su buen funcionamiento.

Al vehículo se le han instalado sensores específicos para el sistema de detección de obstáculos, que unidos a los ya existentes en el vehículo IVVI, permiten una detección e interpretación del entorno rápida y fiable. Los dispositivos principales que se usan para este proyecto y que están disponibles en la plataforma son:

- Telémetro Láser
- Sistema de visión
- GPS

3.3.1 Telémetro láser

El telémetro láser instalado es el modelo SICK LMS 291-S05 [4], capaz de leer un plano en dos dimensiones con una resolución desde 1° hasta $0,25^\circ$ y con un campo de visión configurable hasta los 180° . La distancia máxima de detección es regulable desde los 8 metros hasta los 80 metros, teniendo un periodo de muestreo mínimo de 13ms.

Para la aplicación desarrollada se ha empleado la configuración de $0,25^\circ$ de resolución y una distancia de 80 metros, la máxima configurable ya que aportará una perspectiva amplia del entorno para poder detectar los obstáculos lo más rápidamente posible. En cuanto al ángulo de visión está configurado a 100° . La particularidad de éste telémetro, que le hace ideal para este tipo de sistemas es tener una resolución tan baja. Para conseguirla, el láser realiza cuatro escaneos independientes de 1° grado cada uno de resolución, estando cada uno de ellos separado $0,25^\circ$ entre sí. De esta forma es posible conseguir una resolución de $0,25^\circ$ grados al cuarto escaneo (ver funcionamiento en figura 12). Este comportamiento hace que sea posible identificar cuando los objetos se están moviendo debido al singular patrón que deja a lo largo de las cuatro rotaciones consecutivas. Este patrón será proporcional al movimiento del objeto y su trayectoria a lo largo de las rotaciones.



Figura 11 : Telémetro láser modelo SICK LMS 291-S05

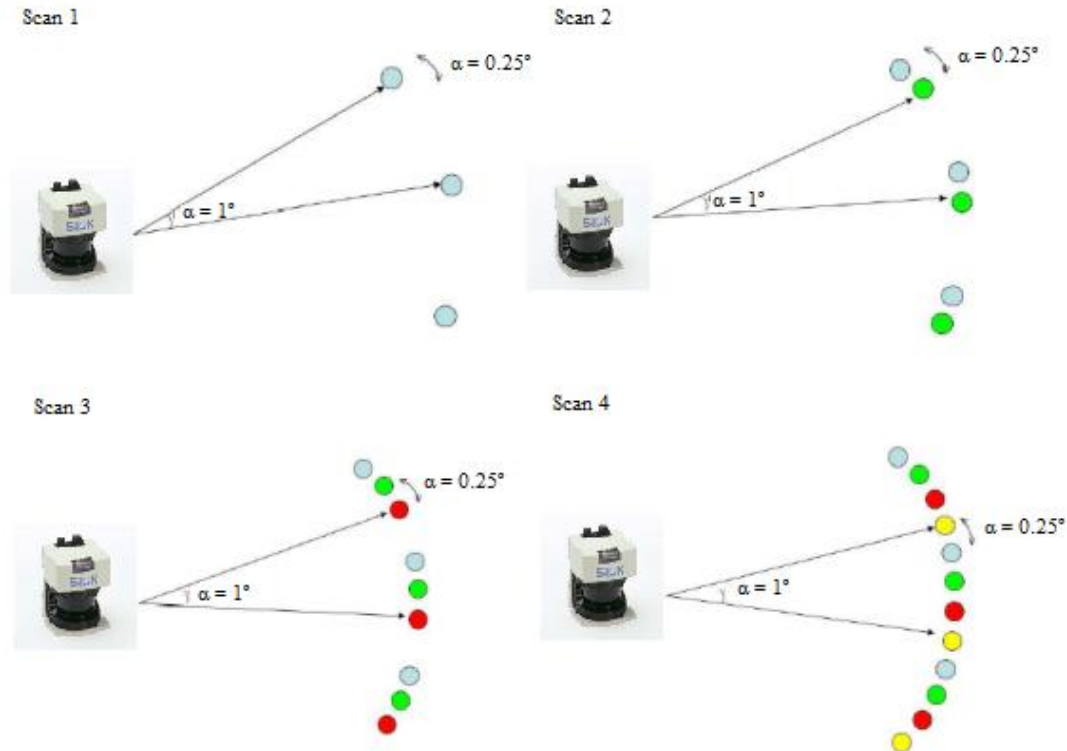


Figura 12: Comportamiento del láser durante un escaneo para conseguir la resolución de $0,25^\circ$

El láser está montado en la parte frontal del automóvil, ligeramente a la izquierda, mediante un anclaje que provee el fabricante y adaptado al parachoques del vehículo. Esta sujeción es lo suficientemente sólida y segura para garantizar que el láser tenga el mismo movimiento que el vehículo y que no pueda llegar a desprenderse de él.



Figura 13: Láser SICK LMS 291-S05 instalado en el frontal del automóvil IVVI 2.0

3.3.2 Sistema de visión

El sistema de visión se compone de una cámara modelo Grasshopper2 de la marca Point Grey [5] que proporciona imágenes reales del entorno. Esta cámara tiene una resolución de 5 megapíxeles y un rango de frame de 29 FPS, lo que permite el correcto funcionamiento para esta aplicación y que además sus reducidas dimensiones permiten su correcta instalación en el vehículo. La cámara se encuentra dirigida en la misma dirección que el láser para poder fusionar ambos sistemas y así tener una mejor perspectiva de lo que está pasando al tener la imagen real y la imagen del láser, evitando falsas detecciones y aumentando la fiabilidad del sistema. Una vez capturadas las imágenes, se realiza sobre ellas un proceso de visión por computador para detectar los obstáculos, por medio del análisis de formas y tamaños.

Sin embargo, lo ideal sería trabajar con un sistema de visión estéreo, lo que permitiría una identificación de los obstáculos más precisa. En la actualidad se encuentra instalado en el vehículo IVVI 2.0 un sistema de visión estéreo con la cámara Bumblebee2 [6], también de la marca Point Grey, pero de momento no ha podido ser utilizado para este proyecto, algo que se espera solventar en el futuro.

3.3.3 Sistema de localización GPS

El sistema empleado para la localización y cálculo de velocidades del automóvil es un sistema GPS diferencial, modelo MTi-G del fabricante Xsens [7]. Se trata de un dispositivo de medida de pequeño tamaño y bajo peso, empleado para el control y la navegación en diferentes escenarios, como aeroespaciales y automovilísticos.

Consta de un sistema de posicionamiento global GPS ayudado de un MEMS (sistema microelectromecánico) basado en una Unidad de Medida Inercial (IMU) y un sensor de presión

estático. La IMU se compone de una serie de sensores inerciales (acelerómetros y giroscopios) y de orientación (brújula) que permiten obtener información sobre los movimientos efectuados en el vehículo sin necesidad de producirse la conexión con los satélites. Dicha información está compuesta por la aceleración, las velocidades angulares o de giro en los tres ejes, y las fuerzas magnéticas o influencia de los campos magnéticos terrestres, con los que se obtiene la orientación respecto al Norte geográfico.



Figura 14: Imagen del GPS MTi-G en la que se aprecian sus reducidas dimensiones

En cuanto a los datos recibidos a través de los satélites, éstos se componen de las coordenadas en las que se encuentra el vehículo (latitud, longitud y altura). El resto de información útil suministrada por el dispositivo se obtiene (dependiendo del modo de funcionamiento seleccionado) a partir del conjunto de datos procedentes de los satélites, los sensores inerciales y la brújula; un caso es el de los ángulos de Euler que denotan la orientación del dispositivo (*roll* o alabeo, *pitch* o cabeceo, *yaw* o guiñada) y la velocidad a la que se desplaza por el medio (referenciada en el sistema tridimensional cartesiano).

El dispositivo permite seleccionar distintos modos de funcionamiento, de los cuales se pueden destacar dos: el *automotive* y el *aerospace*. En el presente proyecto, como es lógico está configurado en el modo *automotive*, al poseer particularidades propias para el procesamiento sobre automóviles.

La característica principal por la cual ha sido elegido el MTi-G frente a otros dispositivos es la precisión que tiene, ya que se trata de un GPS de alta gama, y por la completa información que suministra. Otras características importantes que posee, son el hecho de calcular en tiempo real la posición y la velocidad (siendo ésta muy efectiva gracias a un DSP integrado), ser capaz de recibir hasta 50 canales, es compatible con el futuro sistema europeo de posicionamiento Galileo, y el completo sistema de sensores que permite trabajar en 3D, así como su bajo consumo.

3.3.4 Adquisición y procesamiento de datos

En el vehículo se encuentran instalados tres ordenadores modelo Apple Mac Mini, que son los encargados del procesamiento de datos de todos los sistemas que se están probando en el automóvil, estando los dispositivos conectados por cable a estos ordenadores. Cada dispositivo usa una conexión diferente según sus particularidades.

Para establecer la comunicación entre el telémetro láser y el ordenador, se usa un conversor puerto serie USB, modelo RedCom Meilhaus Electronic [8]. Dentro de la unidad, hay 10x2 (20 pines) bloques de cabecera, que son puenteados para seleccionar el modo de operación deseado, RS-422 o RS-485. Para la aplicación utilizada en este proyecto, la conexión entre el telémetro láser y el conversor serie USB, se produce a través de una pequeña placa donde se encuentran puenteados los pines correspondientes.



Figura 15: Conversor serie USB Redcom

La conexión entre ordenador y el resto de dispositivos es más habitual, siendo entre la cámara y el ordenador por medio cable USB y utilizando el firmware suministrado por el fabricante, la comunicación con el GPS es por cable serie y USB, y la pantalla del habitáculo con los ordenadores por medio de cable VGA.

3.3.5 Visualización

La visualización del sistema de detección de obstáculos y otros sistemas, se realiza mediante una pantalla táctil, modelo Xenarc 700 TSV de 7 pulgadas [9]. Esta pantalla permite visualizar los resultados, además de servir, junto con un teclado, como sistema de entrada de datos del ordenador.

La pantalla está integrada en el salpicadero del vehículo y es multifuncional. Se trata de una pantalla táctil para que en un futuro el usuario pueda variar de una forma fácil e intuitiva diferentes configuraciones de la visualización. Su tamaño de 7 pulgadas permite ver claramente los obstáculos y los diferentes tipos de información que se muestran, como distancia al obstáculo, velocidad, áreas de seguridad, etc. También es utilizada por otros dispositivos que se están probando en el vehículo IVVI 2.0. Entre otras opciones se eligió este modelo por su tamaño, ser táctil, incluir entradas que permiten conexión con el ordenador y diferentes sistemas operativos, además incluye altavoz.



Figura 16: Pantalla Xenarc 700 TSV de 7 pulgadas

3.3.6 Alimentación

El sistema de alimentación se compone de la batería del automóvil, de 24V y de un sistema transformador que entrega 1000W de potencia. El transformador de corriente escogido es un sistema sobredimensionado actualmente, ya que se estima que en un futuro tanto el número de equipos y sistemas de adquisición instalados en el vehículo sean mayores.

Los mayores consumos de los dispositivos instalados en la actualidad se centran en los ordenadores y en el telémetro láser.

Dispositivo	Consumo
Ordenadores	3 * 90W = 270W
Telémetro láser	20W
Pantalla	5W
Cámara de visión	1.5W
Total	296.5 W

Tabla 3: Consumo de potencia de los dispositivos

3.4 Descripción del software instalado en el equipo

Para el desarrollo del presente sistema se cuenta con la ayuda de un ordenador instalado en el interior del vehículo. En dicho ordenador está instalado el sistema operativo Windows XP, ya que es compatible con el resto de programas instalados y con todos los drivers de los sensores. El ordenador también incluye la instalación de diversos programas que procesan la información obtenida de los sensores, facilitando la lectura de datos y su comprensión. Hay que destacar, que como la plataforma IVVI 2.0 es utilizada para diferentes proyectos, se ha consensado el utilizar un mismo lenguaje de programación y los mismos programas para favorecer las futuras integraciones entre los diferentes proyectos de una forma más óptima y sencilla. A continuación se muestran algunos de los programas utilizados y que se encuentran instalados en el ordenador, así como sus características.

3.4.1 Microsoft Visual C++2008 Express Edition

Como se ha comentado anteriormente, se decidió que el lenguaje de programación utilizado en la plataforma fuera común, y por ello se utiliza para el desarrollo de las aplicaciones el lenguaje de programación C++. El software instalado como entorno de desarrollo se trata del Visual C++ de Microsoft, una herramienta potente y fácil de utilizar. A pesar de existir versiones más recientes, se sigue utilizando la versión 2008, ya que se aprovechan los desarrollos que se hicieron anteriormente a éste proyecto y que se usan para poder seguir desarrollando los actuales. Con esta versión se evita tener problemas de incompatibilidad. La versión *Express Edition* tiene la ventaja de ser gratuita y no necesitar una licencia específica, por lo que favorece el desarrollo de aplicaciones.

El empleo de C++ permite a su vez la integración de bibliotecas ya existentes, al encontrarse muchas de ellas implementadas en dicho lenguaje de programación, lo que ayuda en buena medida al programador, y que sin ellas sería inviable el plantearse el desarrollo de este proyecto. A pesar de esta ayuda, muchas veces este apoyo adicional se reduce a partes

concretas de la metodología de trabajo, necesitando una lógica extra que permita integrar las distintas partes y siendo ésta proporcionada por el programador.

El desarrollo del sistema de detección de obstáculos, así como su representación por pantalla y el cálculo de zonas de riesgo para los peatones, necesita la integración en el mismo de distintas bibliotecas, siendo la biblioteca más utilizada para éste proyecto OpenCV.

- **OpenCV:** Biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel. Desde que apareció se ha utilizado en infinidad de aplicaciones (contiene más de 500 funciones que abarcan una gran gama de área), desde sistemas de seguridad con detección de movimiento, hasta aplicaciones de control de procesos donde se requiere reconocimiento de objetos. Su publicación bajo licencia BSD permite que sea usada libremente para propósitos comerciales y de investigación, siendo la más descargada de su área, con más de dos millones de descargas. OpenCv está desarrollada en varios lenguajes de programación, y además es multiplataforma, ya que es posible su utilización en Linux, Mac OS X y Windows. Actualmente la librería sigue recibiendo aportaciones, por lo que tiene un continuo crecimiento y mejora en sus códigos. La versión utilizada es la OpenCv 2.3.1.

3.4.2 Matlab

Matlab es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M), y que además es multiplataforma, ya que es compatible con Unix, Windows y Apple Mac OS X.

Entre sus prestaciones básicas se hallan la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware.

El programa Matlab no ha sido utilizado directamente para el desarrollo del presente proyecto, pero sí de una forma indirecta al ser este programa el encargado de crear las bases de datos que almacenan la información proporcionada por los sistemas de detección de obstáculos, así como la información proporcionada por el dispositivo GPS. Dichas bases de datos ofrecen toda la información recogida de los dispositivos de una forma lógica y colocada, algo esencial para poder leer los datos y sobre todo interpretarlos, y con ello poder realizar el cálculo de las zonas de riesgo de los peatones.

Capítulo 4

Desarrollos previos

4.1 Introducción

Para el desarrollo del presente proyecto ha sido necesario apoyarse en estudios de diferentes áreas y ya integrados o en proceso de integración en la plataforma IVVI 2.0. En este capítulo se va a explicar el funcionamiento de los sistemas de detección de peatones existentes en el vehículo, y el principio de funcionamiento del sistema GPS, que son los dos sistemas imprescindibles para poder calcular las zonas de riesgo respecto a los peatones, así como el aviso y representación de éstos en la pantalla del vehículo. No se realizará una explicación en detalle ya que no son el objetivo de este proyecto, si no solo conocer su base de funcionamiento para poder comprender mejor el desarrollo actual.

4.2 Sistema de detección de obstáculos por fusión de los sistemas de láser y visión

El sistema de detección de obstáculos está siendo diseñado para que funcione por las carreteras y calles de cualquier ciudad, lo que significa que trabaja en un entorno muy variable debido a la gran variedad de formas, tamaños y apariencias de los obstáculos, así como por el tipo de carretera, orografía del terreno, o condiciones climáticas, etc. Para obtener la información del medio por el que circula el vehículo es necesario un sistema de percepción avanzado, que detecte los obstáculos diferenciándolo entre ellos y además conocer la posición exacta en la que se encuentran para poder procesar dicha información y así actuar en consecuencia. El sistema de percepción está formado por la fusión de dos sistemas de detección independientes, uno basado en radar-láser y otro basado en la visión estereoscópica procesada computador.

La fusión de datos es en la actualidad una de las principales tecnologías en sistemas de asistencia avanzada al conductor (conocidos como ADAS), ya que superan las limitaciones de los sensores y sistemas de forma individual, lo que significa superar los exigentes requisitos de seguridad necesarios en estos casos. Como el objetivo del presente proyecto se centra en los peatones y su seguridad, a partir de este punto solo nos referiremos a los obstáculos detectados como peatones, aunque con el resto de obstáculos funcionaría de una forma similar cambiando los parámetros de detección según el obstáculo a detectar.

El sistema de fusión con el que se trabaja en la plataforma IVVI 2.0 tiene el enfoque de procesar los datos una vez han sido clasificados de forma independiente por los otros dos sistemas de detección, siendo la otra opción trabajar con los datos en bruto según los proporcionan los sistemas. El primer paso del sistema de fusión es obtener los datos de los dos dispositivos ya procesados, a continuación se usa un filtro Kalman para el seguimiento de los peatones, teniendo en cuenta su velocidad y aceleración comparándola con un modelo ya prefijado, y después se calculan los posibles errores de medida por medio de las desviaciones estándar de los datos. Como es lógico, el sistema de fusión tiene en cuenta la posición donde se encuentra el peatón y si ha sido detectado solo por un sistema de detección o por los dos.

Para descartar falsas detecciones, los sistemas de detección tienen que detectar al peatón en al menos 3 mediciones de forma consecutiva para que se incluyan en el proceso de

fusión, y luego volverá a producirse un seguimiento de hasta 10 mediciones consecutivas para confirmar la presencia de dicho peatón. La descripción en detalle del proceso de fusión de los dos dispositivos, así como sus algoritmos se encuentra en [10].

A continuación se presentan los dos subsistemas de detección de peatones utilizados antes de pasar al nivel superior de la fusión.

4.2.1 Detección de peatones por medio de dispositivo láser

El telémetro láser instalado en el vehículo de pruebas y su sistema de procesamiento es capaz de detectar la presencia de peatones y su posición. El algoritmo de detección de peatones está compuesto de dos fases, en primer lugar se trataría de la adquisición de datos y un procesamiento previo, y la segunda fase basada en el tratamiento de polilíneas y su comparación con un modelo de peatón para decidir si se trata de una persona o no.

4.2.1.1 Fase de adquisición de datos y procesamiento previo

El principio de funcionamiento del láser es simple, y su función es dar la posición a la que se encuentra cualquier tipo de objeto, así como conocer el contorno de ese objeto. Para ello, realiza un escáner óptico del entorno en tiempo real y de forma bidimensional. Los objetos a medir no requieren características especiales de detección (reflectores, marcas o algún tipo de iluminación especial), lo que lo convierte en un dispositivo versátil. El mecanismo de medida de la distancia se basa en el tiempo de vuelo de los pulsos de luz del láser, proceso que consisten en emitir los rayos y si existe algún objeto en su recorrido éstos son reflejados y registrados posteriormente por el receptor. El tiempo entre la transmisión y la recepción de los rayos (tiempo de vuelo) es directamente proporcional a la distancia entre el dispositivo y el objeto.

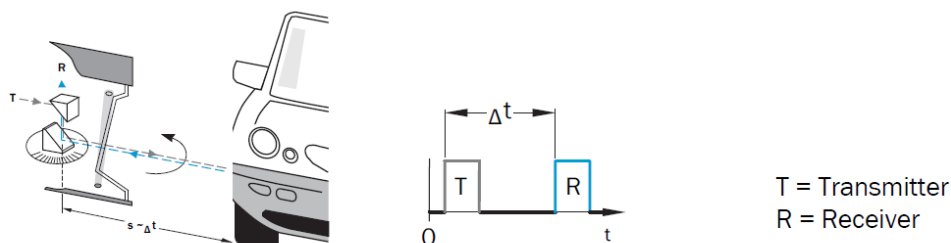


Figura 17: Láser basado en la medida del tiempo de vuelo

El método para obtener todo el campo de visión es gracias a que el rayo láser es desviado por un espejo de giro interno, de modo que se realiza una exploración en forma de abanico del área circundante (figura 18), dependiendo el ángulo del abanico de las características propias de cada láser y su configuración. El láser instalado en el vehículo de pruebas está configurado para obtener un ángulo de abanico de 100° , con una resolución por cada rayo emitido de 0.25° , (explicación en apartado 3.3.1). Esto permite tener por cada barrido información de 400 rayos ($100^\circ / 0.25^\circ = 400$ rayos).

Los datos suministrados por el láser ofrecen información de los obstáculos de la siguiente manera: si la distancia al objeto es inferior al alcance (80 metros), denota la existencia de un cuerpo sobre el que se ha producido la reflexión del haz correspondiente y, por tanto, la

existencia de un obstáculo en esa posición; si la distancia se aproxima al alcance, no se ha detectado nada que intercepte el haz, y por tanto, no hay obstáculo en ese haz.

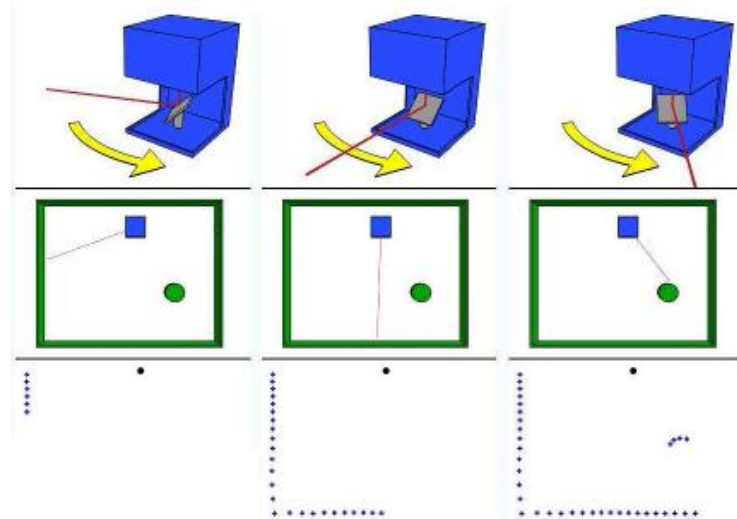


Figura 18: Creación del abanico del campo de visión gracias al giro del espejo reflector y contorno del objeto detectado

Cuando se ha producido el ciclo completo con los 400 rayos del láser, ésta información suministrada se puede representar con un punto sobre un plano. Si existe un obstáculo se formará una nube de puntos cercanos que seguirán un cierto patrón en caso de estar asociadas al mismo obstáculo. De esta forma, es posible agrupar puntos cercanos como pertenecientes al mismo objeto, y así reducir la información relevante. A continuación, se pasará a un tratamiento previo de esas nubes de puntos para construir con ellas estructuras útiles con las que sea posible interactuar. Teniendo en cuenta unos parámetros configurables, se buscan patrones en esas muestras de puntos para intentar identificar segmentos de unión entre puntos. Una vez identificados los posibles patrones se aproximan las nubes de puntos del contorno del obstáculo a un conjunto de rectas, llamadas polilíneas, que facilitarán el procesamiento a alto nivel para identificar el origen del obstáculo [11].

4.2.1.2 Fase de tratamiento de polilíneas y clasificación de peatones

Los segmentos proporcionados por la fase anterior reciben a partir de este momento el tratamiento de obstáculos. Los obstáculos pertenecientes a cada muestreo del espacio son comparados con los anteriormente obtenidos para confirmar o descartar el obstáculo.

Para clasificar los obstáculos detectados como peatones o no peatones, antes de comparar los patrones, se dividen los obstáculos en función del tamaño de las polilíneas. Con esta división solo los de tamaño pequeño proporcional a un peatón son los obstáculos que hay que comprobar con el modelo del peatón. Se considera el tamaño proporcional según los estudios de [10]. La naturaleza de los peatones hace que tengan un patrón de reflexión muy estrecho, ya que por norma general se detectan las piernas de los mismos al estar situado a esa altura el láser. Por lo que es fácil confundirlos con obstáculos cuyo patrón se parece a éstos, como es el caso de señales de tráfico, árboles, etc. Sin embargo el peatón produce una polilínea muy característica, ya que representa lo que podría asociarse a un "Z" ya sea

invertida o no, según la dirección en la que se desplace el peatón, como se puede ver en la imagen 19.



Figura 19: Polilínea característica creado por el peatón según su dirección de desplazamiento

Como lo normal es que el peatón se encuentre en movimiento, la forma de ésta polilínea va variando y no siempre se obtiene la “Z” característica, por lo que para identificar si el obstáculo es un peatón se comparan varias secuencias con distintos patrones [11]. Esta comparación se basa en los ángulos que forman las polilíneas, siendo estos comparados cada tres ángulos consecutivos. Según el resultado de las tres comparaciones con los ángulos de los patrones y teniendo en cuenta un cierto umbral de acierto, se establece si el obstáculo detectado es una peatón o no.

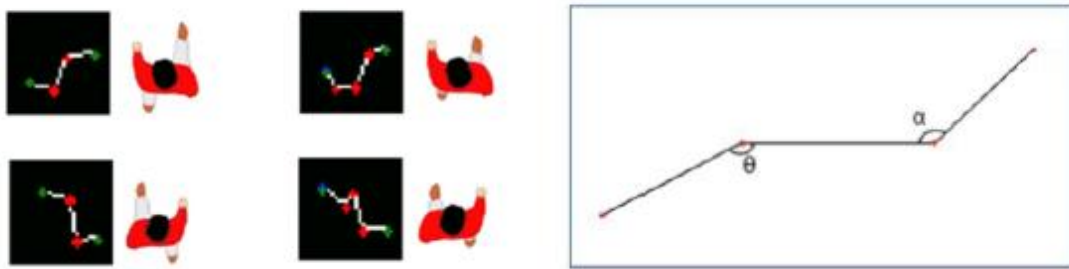


Figura 20: Ejemplo de detección de peatones por medio de polilíneas y sus ángulos

4.2.1.3 Otras cuestiones referentes al láser

El láser está instalado en una plataforma móvil como es un vehículo, y cuando circula produce vibraciones, giros, etc., que afectan de forma grave a la lectura y compresión de los datos recibidos. Para solucionar este problema se tuvo que diseñar un sistema que compensara estos movimientos, y para ello se utilizó las informaciones proporcionadas por el GPS instalado en el vehículo, y que dispone de acelerómetros. Con la información de los sensores y su sistema inercial se podía conocer el movimiento exacto que producía el vehículo, y con ello corregir los puntos de detección del obstáculo de forma correcta.

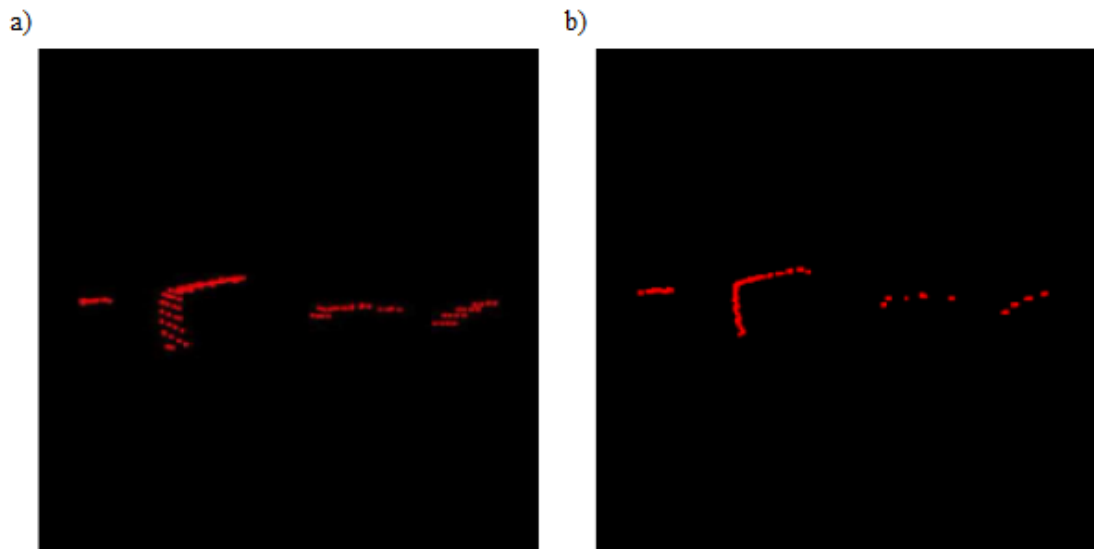


Figura 21: Corrección del movimiento del vehículo. a) Patrón original y b) patrón corregido

Otras cuestiones a tener en cuenta, son que el láser a pesar de ser un dispositivo con un margen de exactitud adecuado para la toma de medidas en un espacio libre y que permite obtener información de forma precisa sobre las distancias a los objetos sin necesidad de complicados tratamientos previos de los datos obtenidos, tiene varios inconvenientes. El principal de ellos deriva de las superficies externas donde se produce la reflexión de la señal, por lo que aquellos materiales que absorban luz, como pueden ser los negros intensos, no serán detectados por el láser y se considerará el espacio que ocupan como una zona libre de tránsito, cuando no lo es. Otro problema radica en el ángulo de incidencia sobre los cuerpos, que puede dificultar la correcta detección, provocando información errónea del objeto detectado. Por otra parte, también se puede producir la aparición puntual de datos incorrectos relacionados con ciertas situaciones ambientales, como es el caso de humo, niebla, o partículas en suspensión.

4.2.2 Detección de peatones por medio de la visión estéreo

Gracias a la cámara instalada en la plataforma IVVI 2.0 y su sistema de procesado, se puede detectar la presencia de peatones en la calzada y dar su posición de forma aproximada respecto al vehículo. La zona de detección por medio de la cámara solo tiene un ángulo de 33° en forma de abanico, por lo que centra su campo de visión solamente en el frontal del vehículo. La detección de los obstáculos y la diferenciación entre ellos se obtienen de un complejo procesado de imágenes, y un alto costo computacional, siendo su principio de funcionamiento el cálculo de histogramas de gradiente orientados (HOG) [12].

El algoritmo del histograma de gradientes orientados tiene como propósito detectar objetos en una imagen. La esencia de dicho algoritmo es que la forma de un objeto en una imagen puede ser descrita por medio de la distribución de los gradientes, siendo el objetivo principal de esta técnica la extracción de características de una imagen. Las características son extraídas teniendo en cuenta los bordes. El proceso de obtener información de los bordes presentes en una imagen, se consigue calculando los gradientes y las orientaciones de todos los píxeles de la imagen capturada. El proceso de extracción de características es el proceso más importante del desarrollo, ya que dichas características podrán identificar a un tipo de objeto u

otro, en nuestro caso particular para poder detectar peatones frente a otros obstáculos. Por lo que es necesario que las características buscadas por el método de histogramas de gradiente orientado representen la silueta de una persona [13].

4.2.3 Resultados de la fusión de sistemas

En el desarrollo de la tecnología de fusión datos de los dos sistemas de detección, se realizaron varias pruebas incluyendo un máximo de seis peatones, y reproduciendo los distintos movimientos que puede realizar un peatón, como caminar de forma frontal, perpendicular, en zigzag, etc.

Los resultados obtenidos son muy esperanzadores, ya que se pudo comprobar que con el sistema de fusión se incrementaba de una forma muy notable el acierto en las detecciones de los peatones. En la tabla 4 se pueden observar los porcentajes de aciertos en la detección de peatones según sistema utilizado de forma independiente, y con el procedimiento de fusión de los dos sistemas.

Sistema de detección	Porcentaje de acierto
Sistema láser	61.13%
Sistema de visión	81.26%
Sistema de fusión	91.54%

Tabla 4: Porcentaje de acierto según sistema de detección de peatones

4.3 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se comienza a desarrollar durante la guerra fría por el departamento de defensa de los Estados Unidos, pero hasta la década de los noventa no comienza a dar servicio. Estaba basado en 21 satélites operativos y tres de reserva. Aunque fue desarrollado para aplicaciones militares, también daba servicio a aplicaciones civiles pero con el inconveniente de generar un error aleatorio que podría llegar hasta ciento cincuenta metros, y que era generado por temas de seguridad. En la actualidad este error no se genera y se logran precisiones que se aproximan al centímetro usando los dispositivos DGPS (con corrección diferencial).

Para conocer la posición exacta por medio de un GPS, se necesita calcular la distancia de éste hacia al menos tres satélites, lo que permite una "triangulación" de los satélites, y con ello nuestra posición sobre un sistema de referencia. El sistema de referencia utilizado en los GPS es la Tierra, estando el origen de coordenadas situado en el centro de la tierra y los ejes rotan con esta. Se decidió usar las coordenadas geográficas para posicionarse sobre ella.

En el sistema *ECEF*, que es el utilizado generalmente, el plano X-Y coincide con el plano ecuatorial de la Tierra, los puntos del eje X con la longitud 0° (meridiano de Greenwich) y los puntos del eje Y con la dirección 90°E. Normalmente se transforman estas coordenadas cartesianas en latitud, longitud y altura. Para realizar esta transformación es necesario definir un modelo físico de la Tierra, y ese modelo es el Sistema Geodésico Mundial de 1984.

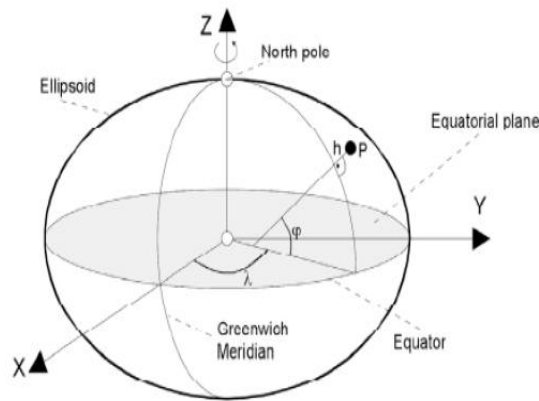


Figura 22: Sistema de coordenadas con origen en el centro de la tierra

Actualmente se está desarrollando en Europa el Sistema Global de navegación por satélite Galileo, que será exclusivamente de uso civil. En principio iba a estar disponible para el año 2008 pero debido a diversos problemas no estará disponible hasta el 2013 si todo va bien. El sistema Galileo tendrá más precisión que el actual GPS ya que dispondrá de 30 satélites, siendo el error de unos pocos de metros sin corrección diferencial (DGPS). También mejorará mucho la precisión en las latitudes altas, algo que el actual sistema GPS tiene bastantes limitaciones.

Como ya se ha comentado en el apartado 3.3.3 de esta memoria, el GPS utilizado en el vehículo de pruebas es un MTi-G de Xsens, con sus respectivos sensores. La posición y orientación del MTi-G se estima usando el filtro de Kalman extendido denominado Filtro Xsens Kalman 6DOF GPS (XKF-6G). Un filtro de Kalman se divide en predicción de paso y corrección de paso. En la predicción de paso, los sensores inerciales integran respecto al tiempo para estimar una posición y una orientación. Debido a los pequeños errores en los giróscopos y acelerómetros, la estimación no será perfecta y el error en la estimación, así como su incertidumbre asociada crecerá con el tiempo, produciéndose una cierta deriva. En el paso de corrección de XKF-6G, esta deriva es corregida usando los datos del receptor de GPS y la señal del sensor de presión estático (barómetro). El filtro XKF-6G está diseñado para operar con una buena señal de GPS, aunque ante cortas pérdidas de la señal pueden ser asumidas, y la orientación, posición y velocidad se estimarán con el resto de los sensores. Con este filtro se consiguen una precisión muy elevada.

A pesar de la buena precisión de estas herramientas, el GPS y el MTi-G tienen algunas limitaciones. Respecto al GPS, la información proporcionada será tan veraz como permita situar al móvil en el lugar en el que realmente se encuentra. Por desgraciada, los datos procedentes de los satélites cuentan con factores que disminuyen la fiabilidad de los mismos. La exactitud de la información depende en gran medida del número de satélites detectados, de su posición y de la intensidad de la señal recibida de los mismos, que ésta a su vez depende de la visibilidad de los satélites, condiciones atmosféricas, etc.

Y en cuanto al MTi-G específicamente, las limitaciones recaen en el filtro XKF-6G, ya que obtiene la posición y orientación mediante la información actual y la pasada. Esto significa que después de encenderlo necesita pasar algún tiempo, siendo el mínimo de 1 minuto, pero el

filtro seguirá mejorando después de 15 minutos. Este tiempo se requiere para establecer una buena posición y orientación. Otro factor importante es que la antena del GPS tiene que tener una visión clara del cielo. En los entornos con mala recepción de la señal GPS, la estimación de la posición y la orientación será menos precisa. Los sensores inerciales pueden resolver alguna degradación pero en situaciones con conflictos en la señal durante tiempos prolongados, el rendimiento se degradará rápidamente y llegará a ser inestable.

La herramienta del GPS es muy útil para el desarrollo de éste proyecto, ya que se usará para calcular la velocidad que tiene el vehículo y con ello se calcularán las zonas de riesgo para un peatón, como se podrá ver más adelante. También se espera que en trabajos futuros sirva para situar el vehículo sobre un mapa real para conocer el entorno por el que se mueve dicho vehículo.

Capítulo 5.

Desarrollo de la aplicación

5.1 Estructura de la aplicación

La aplicación está compuesta de varios subsistemas encargados de los cálculos necesarios para su desarrollo. Estos subsistemas se encuentran en continua ejecución gracias a un bucle, y así obtienen de forma constante la información de los diferentes dispositivos (sistema de detección de peatones y GPS) para poder procesarlas. Cada uno de estos subsistemas será explicado en detalle en los siguientes apartados.

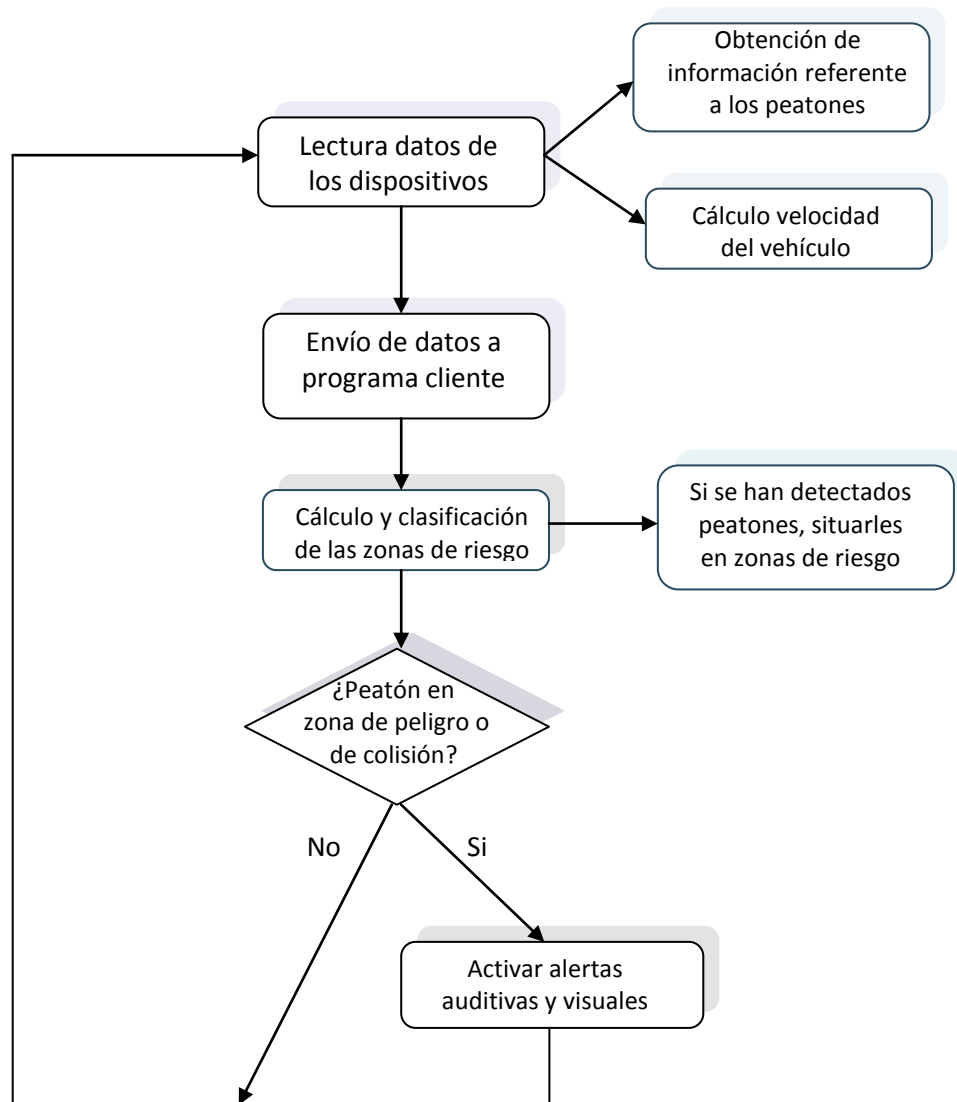


Figura 23: Esquema general de funcionamiento del sistema

5.2 Cálculo velocidad del vehículo

La velocidad del vehículo es de suma importancia para ésta aplicación, ya que en ella se basan los cálculos para las diferentes zonas de riesgo que podría tener el peatón. Los velocímetros actuales de los vehículos no otorgan la precisión necesaria, por lo que se ha optado por calcular la velocidad del vehículo por medio del GPS y los acelerómetros que están instalados en él.

Como el modelo de GPS instalado no proporciona de forma directa los datos sobre velocidad, pero sí sus componentes vectoriales, con una sencilla fórmula (1) podemos calcular la velocidad del vehículo.

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (1)$$

Siendo v_x e v_y las componentes vectoriales de la velocidad a la que circula el vehículo, y por consiguiente v será la velocidad del vehículo respecto a la tierra, considerando ésta como un cuerpo fijo. Con la velocidad se puede calcular el tiempo que tardaría el vehículo en llegar hasta un obstáculo, en este caso el peatón, y así poder actuar en consecuencia.

5.3 Zonas de riesgo

Uno de los objetivos principales de este proyecto es clasificar las zonas de riesgo para el peatón según la distancia a la que se encuentre del vehículo y su velocidad. Para cumplir éste objetivo se han creado tres zonas de riesgo continuas. La primera se encontraría en la parte más cercana del vehículo y se trataría de la **zona de colisión inminente**, en esta zona el vehículo no sería capaz de frenar a tiempo para evitar la colisión, sin embargo actuando de una manera correcta o con un sistema de pre-colisión, se podría conseguir mitigar los daños que se va a producir al peatón y al vehículo. A continuación se encontraría la **zona de peligro**, en ella, si el conductor efectúa las maniobras correctas sí que se conseguiría evitar completamente la colisión y no causar ningún daño al peatón. Por último, se encuentra la **zona de seguridad**, se trata de una zona en la que se ha podido detectar el peatón con los sistemas de detección, pero que ya sea por la velocidad del vehículo o por la distancia a la que se encuentra el peatón, éste no se encontraría en una zona de inminente peligro y en la que se da un margen de confianza al conductor y peatón para que actúen de forma correcta frenando o desviándose de la trayectoria de la hipotética colisión.

En la siguiente imagen se puede observar de forma esquemática las zonas de riesgo que produce el vehículo para los peatones y para otros obstáculos, así como su clasificación según las distancia de frenado y de reacción. También se pueden ver los campos de visión que proporcionan los dos dispositivos de detección instalados en el vehículo, teniendo el dispositivo laser un campo de visión mucho mayor gracias a su mayor alcance y un ángulo de visión también mayor.

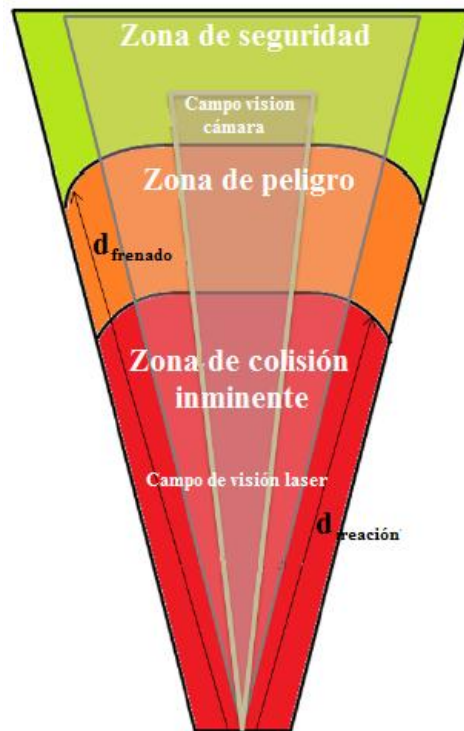


Figura 24: Zonas de riesgo que provoca el vehículo con sus correspondientes distancias

En la tabla 5 se pueden observar las distancias correspondientes a cada zona de riesgo teniendo como punto de referencia el frontal del vehículo.

	Desde	hasta
Zona de seguridad	Infinito	Distancia de frenado
Zona de peligro	Distancia de frenado	Distancia de respuesta
Zona de colisión inminente	Distancia de reacción	0 metros

Tabla 5: Distancias en las que se dividen las diferentes zonas de riesgo

Para los cálculos de estas zonas, aparte de la velocidad a la que circula el automóvil se han tenido en cuenta otros factores relevantes, como el tiempo de reacción del conductor ante un aviso o la distancia de frenado del vehículo, a continuación se explicará la forma de obtener estas distancias.

5.3.1 Distancia de reacción

Es aceptado generalmente que el tiempo de reacción de un conductor es de hasta 0.66 segundos. Esta cifra se ha obtenido del libro de Johansson y Rumar [14] en el cual demostró de forma estadística que ese es el tiempo medio en el que el ser humano tarda en reaccionar frente a un estímulo auditivo de alerta. En el caso del presente proyecto la reacción del conductor sería el pisar el pedal de freno o cambiar la trayectoria del vehículo para evitar la

colisión, y el estímulo auditivo se trataría de un pitido producido en el interior del vehículo y que varía en frecuencia y duración según la zona de peligro en la que se encuentre el peatón. Se ha dado por válido este tiempo de reacción además de por los sólidos estudios [14] y porque también otros autores han demostrado la eficacia de este enfoque [15] con unos resultados muy similares en sus estudios.

$$t_{reaccion} = 0.66 \text{ s}$$

Una vez conocido el tiempo de reacción del conductor, para calcular la distancia de reacción (2), solamente habrá que multiplicar la velocidad (1) del vehículo en ese instante medida en m/s por el tiempo de reacción.

$$d_{reaccion} = tr * v \quad (2)$$

5.3.2 Distancia de frenado

Como su propio nombre indica, la distancia de frenado es la distancia que tarda el vehículo en pasar de la velocidad que se encuentre en ese instante hasta detenerse por completo. Esta distancia varía según muchos parámetros como puede ser las diferencias entre distintos tipos de vehículos, sus condiciones de peso, estado de los neumáticos y frenos, etc., o de las condiciones externas como pudieran ser condiciones meteorológicas o del estado de la carretera.

El enfoque que se ha utilizado en este proyecto para el cálculo de la distancia de frenado se basa en el libro de J.C Collins [16] en el que se realiza un estudio sobre accidentes de tráfico reconstruyendo las causas que los produjeron. En él, teniendo en cuenta el peor de los casos posibles (coche cargado y coeficiente de fricción reducido por condiciones climatológicas) se llega a la conclusión de que solo uno de los ejes del vehículo llega a bloquear, por lo que las fuerzas asociadas con el peso del vehículo se transfieren a la parte delantera de éste, por tanto, se aplica un coeficiente distinto en función de la distancia entre ejes y el centro de masas del vehículo. Éste coeficiente de corrección se calcula con (3), algoritmo obtenido de [16] donde se explica con detalle las conclusiones para poder darla como correcta.

$$\eta = \frac{b}{L-h\mu} \quad (3)$$

Siendo b la distancia existente entre ejes del automóvil, L la longitud total del vehículo, h la altura del centro de masas respecto al suelo, y μ el coeficiente de fricción del vehículo con la carretera.

Para el cálculo del centro de masas del vehículo existen varios métodos de aproximación, uno de ellos también obtenido del libro de J.C.Collins [16] apunta que aproximadamente se encuentra a una altura del 0.4 de la altura real del automóvil, por lo que con ésta aproximación se puede obtener h de una manera rápida y automática para diferentes modelos.

Una vez conocidos los cálculos de (3), el siguiente paso es conocer la distancia de frenado según los parámetros del vehículo. Donde el único dato nuevo en (4) es el valor de la gravedad, correspondiente a $g = 9.8 \text{ m/s}$

$$d_{frenado} = \frac{v^2}{\eta \mu g} \quad (4)$$

Para el vehículo IVVI 2.0 donde se están realizando las pruebas de funcionamiento de éste sistema de seguridad, los parámetros introducidos en las fórmulas (3) y (4) han correspondido a: $\mu = 0.75$ y $\eta = 0.9$; obteniéndose una $d_{frenado} = v^2/6,615$. Que como resulta lógico, a más velocidad del vehículo, mas larga es la distancia de frenado.

5.3.3 Distancia de frenado absoluta

Se considera la distancia de frenado absoluta a la distancia que recorre el vehículo desde que el conductor se da cuenta de la presencia de un peatón, hasta que el coche se detiene por completo. Esta distancia se calcula con la suma de los resultados de (2) y (4) correspondiente a la distancia recorrida mientras el conductor reaccionaba para pisar el pedal de freno y la distancia que ha recorrido el vehículo en su proceso de frenado.

$$d_{fre.absoluta} = d_{reaccion} + d_{frenado} \quad (5)$$

5.4 Alertas por detección de peatones

El siguiente paso en el desarrollo de la aplicación es avisar al conductor cuando se detecte una situación de peligro por la presencia de un peatón en la carretera.

En la aplicación actual existen dos formas de alertar al conductor, una de forma visual y otra más persuasiva y rápida de forma auditiva. El motivo de la instalación de dos tipos alertas es debido a que al tratarse de un sistema de seguridad se consigue más robustez ante el posible fallo de una de ellas, y también para asegurar que el conductor percibirá al menos una aunque conduzca distraído. Las alertas variarán según la zona de peligro en la que se encuentre el peatón, siendo más intensas e intuitivas si el peligro es mayor.

5.4.1 Alerta auditiva

Está completamente demostrado que un ser humano reacciona antes a un estímulo auditivo que frente a un estímulo visual, como se puede ver en los estudios sobre tiempos de reacción [17] y [18], y más cuando el estímulo visual no se encuentra completamente en un campo directo de visión, ni se está concentrado en él de forma permanente, como ocurre en el caso de la pantalla incorporada en el vehículo, ya que el conductor estará más atento a la circulación que a mirar la pantalla. Por ello se ha creído conveniente desarrollar una alarma auditiva simple pero efectiva cuando se detecte una situación de peligro.

En el desarrollo de la aplicación primeramente se trabajó en usar como tipo de alerta auditiva una voz que avisara de la presencia del peatón y su localización, como por ejemplo una voz que dijera, “¡Atención! peatón a su derecha!”, pero tenía el inconveniente principal de retrasar todo el proceso y poner en peligro el aviso en tiempo real, ya que se tardaba unos

segundos en emitir esa señal y la situación del vehículo y el peatón podían cambiar de forma muy rápida. Además, revisando estudios sobre las reacciones del ser humano ante los diferentes estímulos auditivos [19], [20], se llegó a la conclusión que era más efectivo un sonido conciso y claro como era el del tipo “beep” y no un mensaje de alerta, ya que el ser humano es más rápido en procesar y asimilar los sonidos simples que las frases completas. Por estos motivos se decidió que la alerta que se usaría en el vehículo sería del tipo beep. También de estos estudios se conoció las reacciones de las personas según el grado de agudo o grave de los sonidos, siendo los sonidos graves (considerados por debajo de los 200Hz) más lentos de percibir por las personas ya que no se asocian a un tipo de alerta. Por el contrario los sonidos agudos (considerados por encima de los 900Hz) son más rápidos en el tiempo de reacción de las personas, pero puede tener el inconveniente de si se trata de un sonido excesivamente agudo pueda ocasionar el efecto contrario, al producir un estrés sobre el ser humano y no sea capaz de identificar su procedencia o incluso ocasionarle un estímulo de alerta excesivo que pueda llegar a asustarle siendo las reacciones impredecibles.

Teniendo en cuenta los datos anteriores se configuró el sistema de la alerta de la siguiente manera. Si el peatón ha sido detectado pero no se encuentra en una zona de peligro (se encontraría en la llamada zona de seguridad), al estar en una zona aparentemente segura en la que el conductor y peatón pueden actuar para evitar el accidente, no se emitirá ninguna alerta auditiva. Si el peatón se encuentra en la zona de peligro el dispositivo emitirá un sonido corto y conciso, teniendo éste una frecuencia de 300Hz, considerada de término medio en la relación grave-agudo, lo suficiente para ser escuchada por el conductor y que detecte el peligro pero sin llegar a ser un pitido excesivamente agudo que pueda asustar al conductor y provocar otro accidente. El pitido estará repitiéndose constantemente hasta que el peatón abandone la zona de peligro, ya sea por una actuación del conductor o del propio peatón. Por último, si no se hubiera actuado de forma correcta en las dos fases anteriores y el peatón se encontrara en la zona de colisión inminente, el dispositivo emitirá una alerta auditiva más aguda, a una frecuencia de 1000Hz, para asegurar que el conductor detectado al peatón y pueda actuar sobre el vehículo. Al igual que aviso en la zona de peligro, en esta zona también se repetirá hasta que disminuya el peligro o el vehículo se detenga. Como el conductor ya habría sido avisado con la alerta anterior de la zona de peligro, ante este nuevo aviso agudo ya se encontraría con los sentidos en alerta y sabría identificar el origen del sonido sin causar un peligro por la reacción que pudiera tener.

	Frecuencia	Duración
Zona de seguridad	No se emite alerta	No se emite alerta
Zona de peligro	300Hz	20ms
Zona colisión inminente	1000Hz	20ms

Tabla 6: Características de la alerta auditiva según zonas de riesgo

5.4.2 Alerta visual

Gracias a la pantalla de visualización instalada en el vehículo de pruebas se ha podido programar un sistema de alerta visual que muestra por pantalla la situación de los peatones detectados y su posición sobre las zonas de riesgo, así como la velocidad del vehículo en ese instante y si se ha detectado algún peatón, también muestra la distancia existente entre el peatón más cercano y el vehículo.

Cuando un peatón es detectado y se encuentra en una de las zonas establecidas, es representado de forma esquemática por un punto sobre una plantilla que simula una carretera. Éste punto se moverá de la misma forma que el movimiento del peatón en ese mismo instante. Sobre la plantilla también se representan las diferentes zonas de riesgo y su alcance que dependerá según la velocidad a la que circule el vehículo en ese instante. Con la representación de las zonas de riesgo se puede ver en todo momento si alguno de los peatones detectados entra en una de las zonas de peligro.

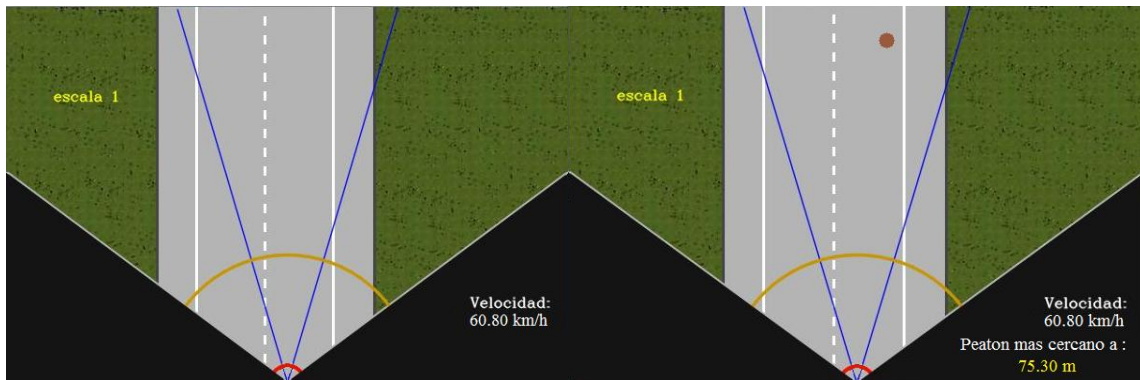


Figura 25: Simulaciones donde primeramente no se ha detectado ningún peatón, y en la segunda imagen peatón detectado en zona de seguridad. En ninguna de las dos aparece alarma de peligro

Si un peatón o varios se encuentran en la zona considerada de seguridad, se mostrará por pantalla su posición y la distancia al peatón más cercano. Si el peatón se encuentra en la zona de peligro, aparte de ver en la pantalla la invasión de esa zona, se mostrará por pantalla el mensaje “Peligro” con letras de un tamaño adecuado sobre la pantalla y de un color llamativo como es el amarillo, y así que el conductor pueda actuar en consecuencia para evitar el accidente. Cuando el peatón se encuentre en la zona de colisión inminente, se mostrará el mensaje “FRENAR!!” a un tamaño algo mayor que el anterior mensaje y en color rojo. Si el peatón se encuentra en estas dos últimas zonas también se seguirá mostrando la distancia a la que se encuentra.

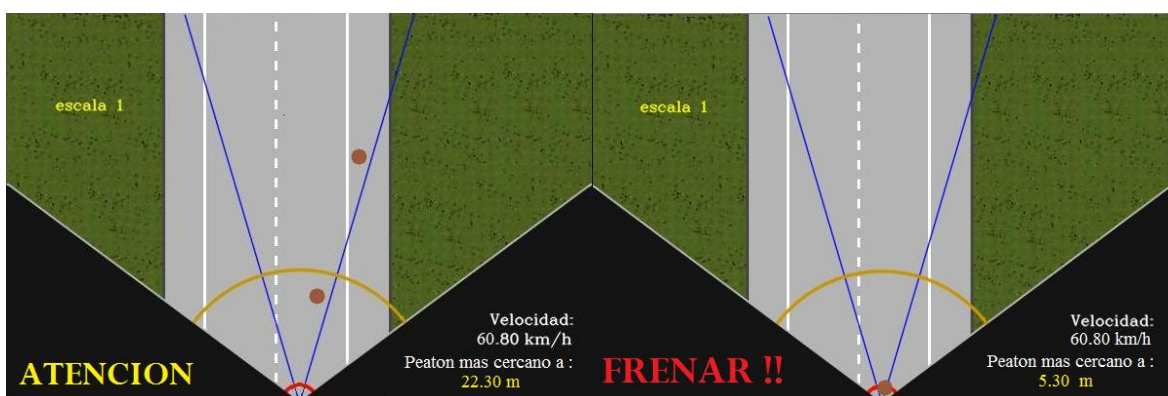


Figura 26: Simulaciones donde primeramente es detectado un peatón en zona de peligro, y en la segunda imagen un peatón es detectado en zona de colisión inminente. En las dos simulaciones se pueden ver las alertas visuales

El color elegido para los avisos es muy importante, ya que si no funcionara o no se detectara la alerta auditiva (que como se ha dicho, el cuerpo humano es más rápido en reaccionar con ella), el estímulo al que tendría que reaccionar el conductor sería el visual. Está demostrado que según el color y el contraste de colores que pudiera existir en el estímulo visual, el ser humano reacciona con diferentes tiempos de reacción, como se puede ver en el

estudio realizado por el centro de optometría internacional [21]. Teniendo en cuenta este estudio, se eligieron los colores rojo y amarillo en colores intensos para los mensajes de alerta, y para el resto de información mostrada en pantalla colores más oscuros y cálidos, para que así el contraste entre colores fuera mayor, y por tanto el tiempo de reacción del conductor se redujera lo máximo posible.

5.4.2.1 Representación en escala

Para facilitar la visión por parte del conductor de las alertas visuales y de la situación de los peatones, se ha desarrollado una visualización que puede variar en dos escalas. Una diseñada para ser visualizada cuando el vehículo circule por ciudad, que se supone circulará a una velocidad inferior a 50km/h, y otra cuando circule por carretera a más velocidad. Esto quiere decir, que si el vehículo está circulando a mas de 50km/h, en la pantalla se visualizará la *escala 1*, que se trata de una visión amplia de la zona de detección con un campo de visión de 80metros, el máximo alcance del sistema de detección de peatones, y así poder ver el alcance de las zonas de riesgo aunque se circule a una velocidad elevada. Sin embargo, si el vehículo circula a una velocidad inferior a los 50km/h que es el límite para circular por entornos urbanos, se visualizará la *escala 2*, correspondiente a un zoom de la zona de detección más próxima al vehículo, que facilitará ver con más detalle la posición de los peatones y su peligro. Ha sido necesaria la incorporación de estas escalas al ser tan variable las posibles velocidades que alcanza el coche, y con una sola se perdería mucha información o sería difícil de interpretar por el reducido tamaño de la pantalla de visualización.

	Desde	hasta
Escala 1	50.01 km/h	Velocidades mayores a 50km/h
Escala 2	Vehículo parado. 0km/h	50km/h

Tabla 7: Rangos de funcionamiento de las escalas según velocidad

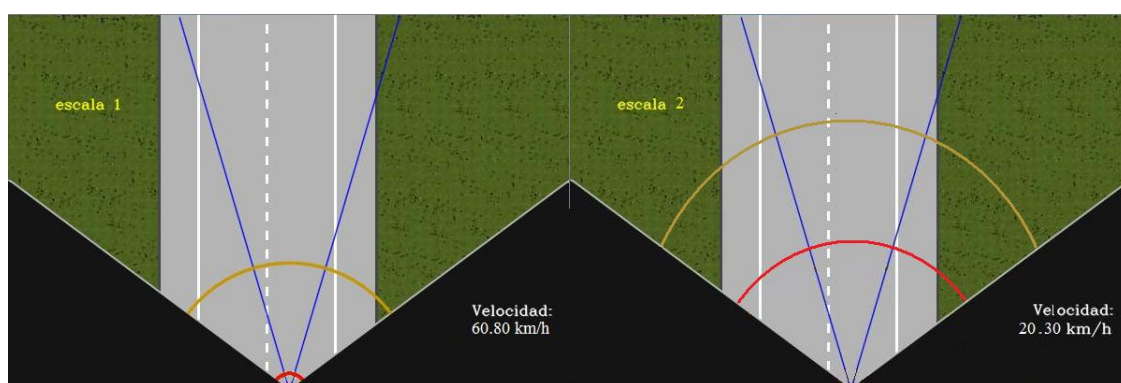


Figura 27: Simulaciones donde se puede observar como varían las escalas según velocidad del vehículo

Capítulo 6.

Implementación

6.1 Introducción

La presente aplicación de seguridad ha sido implementada por medio de programación en lenguaje C++, por lo que el mayor desarrollo de éste proyecto ha sido la programación. Durante este proceso, la programación se dividió en diferentes fases lógicas, primeramente estableciendo conexión entre programas, a continuación se consiguió la lectura de los datos de los dispositivos, para finalizar calculando las zonas de riesgo y emitiendo las señales de alerta. A lo largo de este capítulo se mostrarán las diferentes partes de las que consta el programa y se explicará mediante diagramas de bloques el código estructurado.

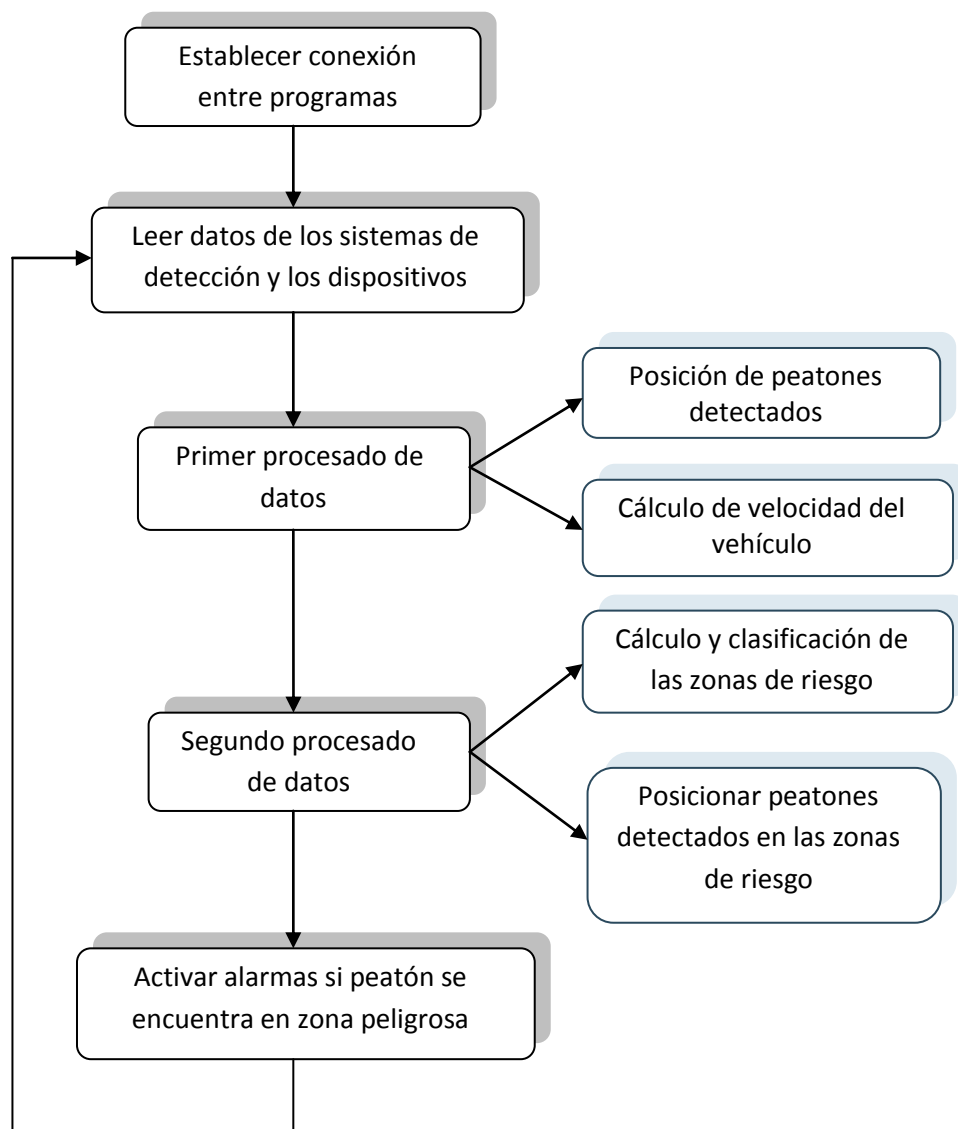


Figura 28: Esquema general de implementación

6.2 Conexión por sockets

El primer objetivo que presentaba la implementación era la interconexión entre programas, algo fundamental para el buen funcionamiento, y sobre todo para facilitar la lectura de los datos que proporcionan los diferentes dispositivos instalados en el coche, ya procesados o no.

En la actualidad existen dos programas que funcionan en paralelo y que están conectados entre sí para ofrecer la información al dispositivo, uno es el servidor y el otro el cliente. El programa servidor se encarga de obtener la información de los sistemas de detección de peatones por medio de una base de datos, procesar esa información y obtener datos útiles y ponerla a disposición del cliente para cuando éste la solicite. El programa cliente está pidiendo de forma constante información al servidor, para que éste le envíe el número de peatones detectados, posición de cada uno, y velocidad del coche. La información es a tiempo real, por lo que servidor y cliente se están enviando datos directamente cuando lo proporciona el sistema de detección de peatones.

El implementar dos programas en paralelo espera facilitar los futuros trabajos que se efectúen en el coche, y la posibilidad de que existan dos ordenadores trabajando a la vez, uno encargado de la detección de obstáculos que crearía una base de datos con la información de los obstáculos, y otro ordenador encargado de dar los avisos de seguridad y mostrar por pantalla la información. El uso de dos ordenadores sería útil para mejorar la velocidad de procesamiento de la información, ya que al ser los cálculos muy complejos, el procesamiento podría llegar a causar retrasos y afectar al tiempo real que requiere este tipo de aplicaciones. En la actualidad se está usando solo un ordenador, por lo que la conectividad entre programas se produce en el mismo ordenador con la configuración IP a "127.0.0.1" y utilizando el puerto 2050, siendo estos parámetros en los que habría que realizar los cambios para adaptarlo a los dos ordenadores.

Para realizar esta conexión entre programas se ha utilizado la *Clase Sockets* disponible para la programación en C++. En nuestro caso particular, la conexión entre programas se produce al principio de la ejecución, y una vez establecida, los programas ya están en situación de envío constante sin tener que volver a establecerla. Esto es una ventaja ya que solo necesita unos pocos segundos para establecer la conexión y a partir de ese momento es todo instantáneo, por lo que no produce retrasos de tiempo al enviar la información. Los dos programas tienen implementado un sistema para que en caso de que no sea posible establecer la conexión salte un mensaje de aviso advirtiendo del tal hecho al usuario, aunque el programa volverá a intentar establecer la conexión de forma automática.

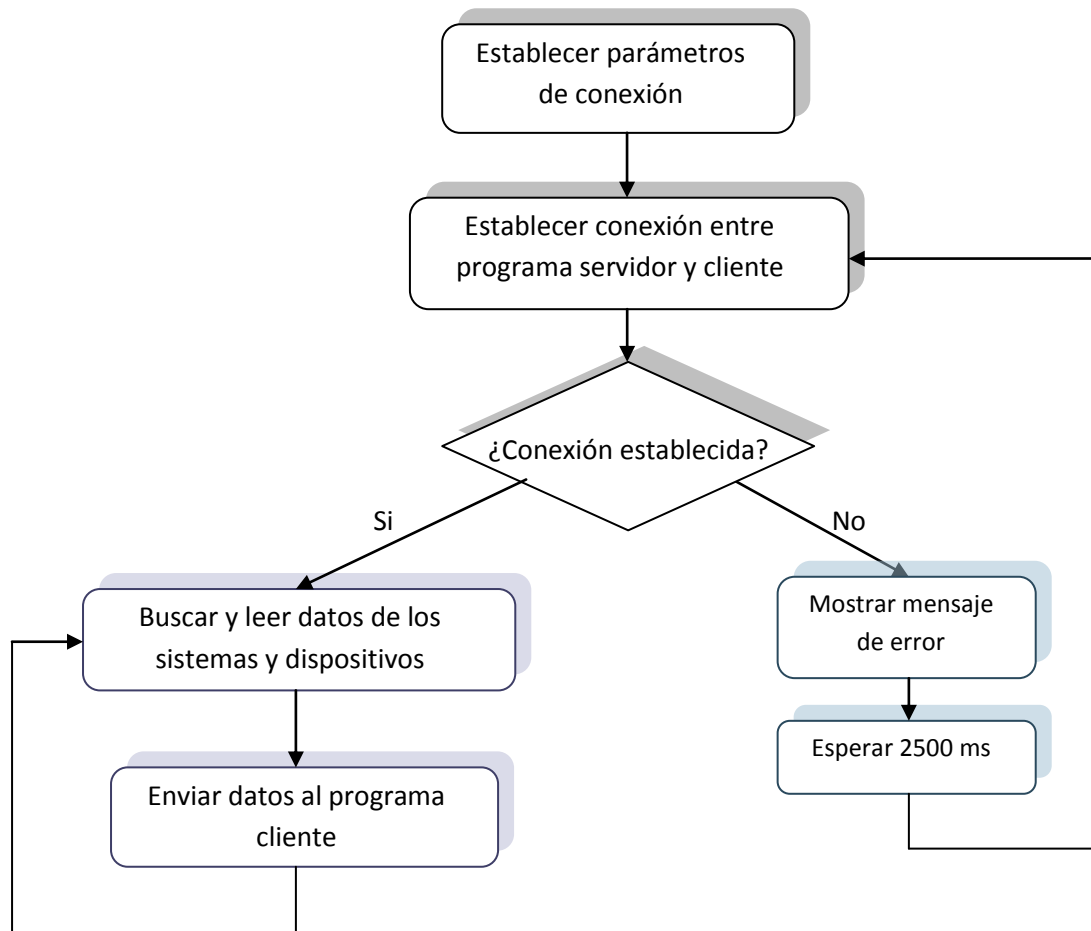


Figura 29: Esquema de implementación de sockets

6.3 Procesado de datos. Lectura y envío

El desarrollo del presente proyecto necesita la información del sistema de detección de peatones y de otros dispositivos para poder calcular los riesgos que pudiera tener el peatón. Para ello, en el programa servidor se ha implementado un código capaz de buscar la información que necesita y descartar la inútil, así como de un previo procesado de datos, para posteriormente el envío al programa cliente.

Para ello, una vez establecida la conexión por sockets, el programa servidor busca en un archivo previamente asignado toda la información que está enviando de forma constante y en tiempo real los sistemas de detección de peatones y otros dispositivos. Esta base de datos que como se ha comentado ya está en constante actualización, recibe la información del GPS, de la detección de todo tipo de obstáculos por medio del sistema láser, y también de la detección de todo tipo de obstáculos por medio de la visión por computador. Se tiene previsto que en un futuro estos dos sistemas se conviertan en solo un sistema de detección por medio de la fusión entre ambos. En la implementación actual solo habría que cambiar unos pocos parámetros para que sea compatible con el sistema de fusión que se está desarrollando.

Una vez que el programa ha accedido al archivo asignado donde se encuentran las bases de datos, el siguiente paso es diferenciar de qué dispositivos quiere obtener cierto tipo de información. Para ello, se buscan unos patrones que ayuden a identificar el dispositivo que aporta la información, y así poder seleccionar uno u otro. Para identificar entre estos tres dispositivos se ha creado un código numérico al principio de cada secuencia de datos que ayudará a identificarlos. El código numérico que sirve como patrón a buscar en las secuencias es, que si se trata del sistema de detección por láser su código de comienzo será "0", si se trata de la detección por visión el "1", y si fuera del dispositivo GPS "3". A continuación del código de diferenciación estará disponible la fecha y hora exacta de la captura de datos con una precisión de milisegundos, y a continuación el resto de datos que proporciona el dispositivo. Cada bloque de secuencias de datos termina con el signo ";" lo que facilita el saber si se ha terminado de recibir toda la información de ese dispositivo o no, y así comprobar cuál es el siguiente dispositivo que envía la información. Dentro de cada bloque de secuencias, es posible que a su vez esté disponible información de diferentes obstáculos, ya sean peatones, coches, señales de tráfico, etc., por lo que es necesario a su vez dividir el bloque de secuencias en pequeñas secuencias individuales para cada obstáculo, y diferenciarlos entre sí por otro sistemas de códigos que identifica el tipo de obstáculo detectado, y terminando cada secuencia con el signo ",".

En la siguiente figura 30 podemos observar un bloque de secuencias proporcionadas por el dispositivo laser (código de identificación 0) donde han sido detectados diferentes obstáculos, por lo que hay varias secuencias de información dentro del bloque. También se pueden identificar los diferentes códigos numéricos usados.

Código identificación de dispositivo													
0	2011	14.12	18:32:35.126										
146	3	12.25	10.77	12.12	10.09	12.19	10.43	-0.00	0.13	0.68	0.00	0.00	:
146	3	21.86	19.98	19.54	19.79	20.70	19.89	-0.00	2.31	0.19	0.00	0.00	:
146	5	18.07	18.93	17.81	18.54	17.94	18.74	-0.00	0.26	0.39	0.00	0.00	:
146	3	18.68	20.77	17.37	20.10	18.03	20.44	-0.00	1.31	0.67	0.00	0.00	:
146	2	21.35	24.48	20.72	24.08	21.03	24.28	-0.00	0.63	0.40	0.00	0.00	:
146	3	19.83	24.09	14.99	23.74	17.41	23.92	-0.00	4.84	0.35	0.00	0.00	:
146	2	16.77	22.66	16.60	22.62	16.69	22.64	-0.00	0.17	0.04	0.00	0.00	:
Código identificación tipo de obstáculo													

Figura 30: Ejemplo de bloque de datos en el que se pueden ver los diferentes códigos de identificación.

Para facilitar la búsqueda de los datos que nos interesan y para que el proceso sea más rápido y fiable, cada bloque de datos del dispositivo se graba en un buffer, así solo se tiene que analizar y buscar en ese buffer la información deseada sin alterar ni ralentizar todo el proceso. La información del buffer va siendo renovada cada vez que se detecta un nuevo dispositivo, descartando la información para no saturar al ordenador de datos innecesarios.

Los bloques de datos y las secuencias han sido previamente modelados, ya que los sistemas de detección y los dispositivos tienen su particular forma de entregar los datos. Este tratamiento previo es realizado con el programa *Matlab* y consigue tener la información colocada de forma lógica facilitando el acceder a ella.

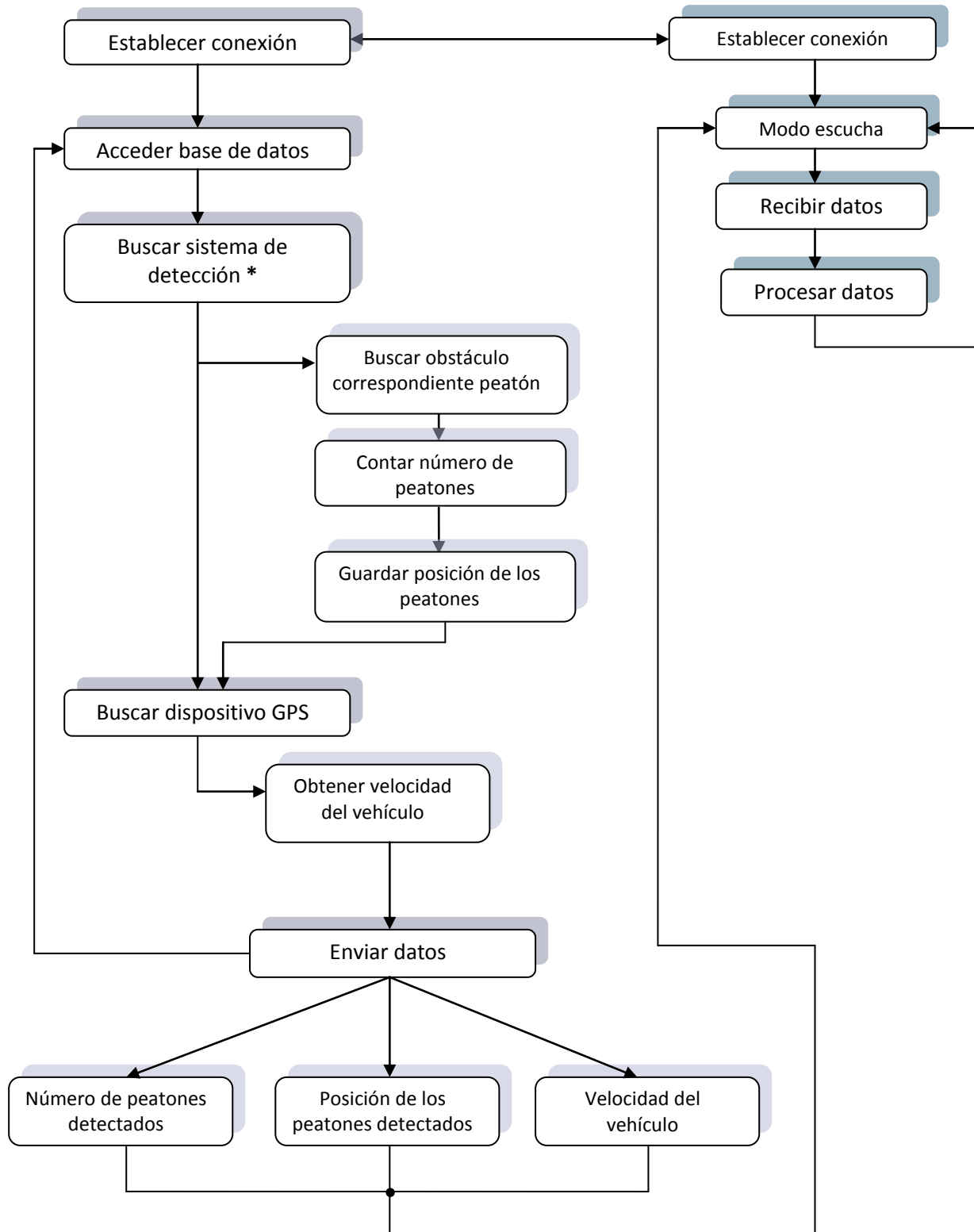


Figura 31: Esquema explicativo del funcionamiento de la adquisición y envío de datos

**En la actualidad el sistema de detección de peatones es exclusivamente por medio del láser, siendo en el futuro un sistema de fusión entre los dispositivos láser y visión.*

6.3.1 Datos proporcionados por el sistema de detección de obstáculos

Antes de comenzar a explicar este punto, hay que resaltar que en la actualidad solo se ha podido configurar el sistema para la detección de peatones por medio del sistema de detección de obstáculos por medio de radar láser, ya que era el único que proporcionaba de forma fiable las detecciones de los peatones. Se espera que un futuro cercano el sistema de detección utilizado sea el de fusión de los dispositivos láser y visual. Por este motivo, en este apartado se explicará cómo se obtienen los datos de los peatones exclusivamente por el láser, pero teniendo en cuenta que cuando esté operativo el sistema de fusión se procederá de igual forma a la aquí mostrada, simplemente cambiando los códigos de identificación de dispositivos.

El sistema de detección de obstáculos por medio del láser es el sistema que mas información produce en la actualidad, ya que proporciona la información de todo tipo de obstáculos que detecta. La diferenciación de tipo de obstáculo se produce en un proceso previo a la creación de la base de datos [22] y llegan a dicha base de datos ya catalogados por un sistema de códigos numéricos dependiendo del tipo de obstáculo del que se trata. Como en la actualidad solamente nos interesan los obstáculos que sean peatones, se busca su código numérico, en éste caso el “ 5 ”, para así poder leer la información sobre ellos. La información que se necesita para ésta aplicación es solamente su posición en un plano en dos dimensiones teniendo como eje de referencia el láser. Sabiendo su posición también conoceremos su distancia exacta al vehículo, aunque éste cálculo ya se efectuará en el programa cliente. Para optimizar el proceso, el programa servidor solamente tendrá disponible para el programa cliente la posición del peatón sobre el plano, siendo el resto de información proporcionada por el sistema descartada.

A continuación se muestra una secuencia completa de los datos que ofrece el láser a los diferentes sistemas utilizados en el vehículo IVVI.

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
146	5	12.25	10.77	12.12	10.09	12.19	10.43	-0.00	0.13	0.68	0.00	0.00	;

Tabla 8: Ejemplo de secuencia proporcionada por el sistema de detección por medio del láser

Correspondiendo cada dato a:

- Bloque de datos e imagen a la que se asocia*
- Tipo de obstáculo*
- Valor más bajo en coordenada X de los puntos detectados para éste obstáculo*
- Valor más alto en coordenada X de los puntos detectados para éste obstáculo*
- Valor más bajo en coordenada Y de los puntos detectados para éste obstáculo*
- Valor más alto en coordenada Y de los puntos detectados para éste obstáculo*
- Coordenada X respecto al láser donde se encuentra el obstáculo*
- Coordenada Y respecto al láser donde se encuentra el obstáculo*
- Variable sin usar en la actualidad*
- Width= Ancho del obstáculo*
- Height = Altura del obstáculo*
- Variable sin usar en la actualidad*
- Variable sin usar en la actualidad*
- Código de fin de secuencia*

Siendo los únicos códigos usados para ésta aplicación los correspondientes al tipo de obstáculo “b”, y las coordenadas del obstáculo respecto al láser (g, h). Siendo el resto de datos descartados.

Como existe la posibilidad de que se detecten varios peatones de forma simultánea, se comprueba de forma inicial el número de peatones detectados, y así saber cuanta información poner a disposición del programa. A cada peatón detectado se le asigna un número para que se le pueda asignar su posición de forma fiable. En la actualidad el número de peatones de forma simultánea de los que puede obtener información es de cincuenta.

La ventaja de la diferenciación por código numérico de los diferentes tipos obstáculos, es la posibilidad en un futuro de enviar de forma similar a la que se realiza con los peatones toda la información relativa a los otros obstáculos, y realizar de forma análoga el aviso al conductor incrementando la seguridad.

En cuanto al sistema de detección de peatones por medio de visión, que como ya se ha comentado anteriormente, no se ha recogido información de este sistema de detección a la espera de que esté operativo el sistema de fusión de datos. Comentar que la información que proporciona este sistema es solo cuando detecta al peatón, sin mostrar en la actualidad información sobre otros tipos de obstáculos.

6.3.2 Datos proporcionados por el GPS

Con el mismo procedimiento que en los casos anteriores, una vez detectada en la base de datos el dispositivo GPS, se procede leer los datos que nos interesan para ésta aplicación. Este dispositivo ofrece la posición en la que se encuentra ubicado dando latitud, longitud y altura, así como la información de los diferentes acelerómetros.

Para la presente aplicación, actualmente solo se necesitaría la velocidad del vehículo, por lo que se buscan las componentes de la velocidad V_x e V_y , para posteriormente obtener la velocidad total a la que se mueve el automóvil. Es ésta velocidad lineal la que se pone a disposición del programa cliente, ya que al calcularla previamente se minimiza el envío de información enviando un solo dato.

A continuación se muestra una secuencia completa de los datos que ofrece el dispositivo GPS para poder ser usada por los diferentes sistemas.

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
146	40.334	-3.76	1.173	4.893	1.680	-4.249	-2.632	70.461	-2.565	3.441	4.092	;

Tabla 9: Ejemplo de secuencia proporcionada por el dispositivo GPS

Correspondiendo cada dato a:

- a. Bloque de datos e imagen a la que se asocia
- b. Latitud
- c. Longitud
- d. Altura
- e. Velocidad de la componente x. V_x
- f. Velocidad de la componente y. V_y
- g. Pitch

- h. Roll*
- i. Yaw*
- j. Velocidad angular del pitch*
- k. Velocidad angular del roll*
- l. Velocidad angular del yaw*
- m. Código de fin de secuencia*
- n. Código de fin de secuencia y fin de información de dispositivo*

Siendo los únicos códigos usados para ésta aplicación los correspondientes a las componentes de la velocidad (*e, f*), siendo el resto de datos descartados.

Para un trabajo futuro, como el que se empezó a desarrollar en este proyecto pero que no se ha llegado a completar, sería representar por pantalla un mapa de carreteras indicando el lugar donde se encuentra el vehículo y las curvas de la carretera, al estilo navegador de los que ofrecen hoy en día los vehículos, y mostrando sobre ese mapa también la situación de los peatones u otros obstáculos. Para desarrollar esta aplicación haría falta conocer las coordenadas del vehículo, dato que nos proporciona el dispositivo GPS (datos *b, c, d* de la secuencia anterior) y que habría que extraer de las secuencias de similar forma al resto de datos.

6.3.3 Envío de datos entre programa servidor y cliente

Los dos programas desarrollados para la aplicación están constantemente enviándose información referente a los parámetros de circulación del vehículo y los asociados a la detección de peatones. Como ya se ha comentado, se han realizado cálculos previos para solamente enviar la información mínima indispensable, por lo que en la actualidad los únicos datos que se envían al programa cliente son:

- Número de peatones detectados
- Posición de cada peatón detectado
- Velocidad del vehículo

6.4 Cálculo de zonas de riesgo y representación por pantalla

Este apartado está programado por completo en el programa cliente y su función es el cálculo de las zonas de riesgo, la representación de forma esquemática de la situación del vehículo y los peatones, así como la activación de los sistemas de alerta si se produce una situación de peligro.

El primer paso es recibir de forma correcta la información enviada por el programa servidor y almacenarla en variables útiles para su posterior procesado. A continuación, para que todo el proceso sea lo más rápido posible, se definen los parámetros que a priori van a ser invariables, como son los ángulos de detección del láser y del sistema de visión, los parámetros auxiliares para la representación, la posición del vehículo respecto a la simulación, etc. También para ahorrar tiempo de procesado, se crea una copia de la imagen que se mostrará en el fondo de la pantalla, con éste proceso se consigue que el programa no tenga que estar buscando de forma continua en los archivos del ordenador la imagen, si no que está disponible de una forma más rápida y sencilla. La copia creada en este caso es exactamente igual a la

original. A su vez, se vuelve a crear otra imagen de la copia, y en esta nueva imagen es donde se incluirán las nuevas representaciones estáticas para mejorar la estética y hacerla más funcional en la pantalla del habitáculo.

Una vez realizada la representación estática, y recibida la información del vehículo y de los peatones, se calculan las diferentes zonas de riesgo. Para ello fue necesaria la instalación de la librería matemática “*math.h*”, que permite la realización de cálculos matemáticos complejos, como la raíz cuadrada necesaria en los cálculos de las zonas de riesgo. Por último queda la representación por pantalla de las zonas de riesgo y el aviso cuando se detecte peligro para el peatón, para ello ha sido muy importante trabajar con la librería “*opencv.h*”. Gracias a la instalación de la librería ha sido posible representar de una forma esquemática las zonas de riesgo por medio de la representación de semicírculos que varían su radio dependiendo de la velocidad del vehículo y del resto de parámetros. Se representan las dos zonas de riesgo con dos colores diferentes y llamativos sobre el fondo negro para que sea más sencilla su visualización. Con la librería OpenCv se pueden modificar todos los parámetros de la representación, como grosor, punto de inicio, figura geométrica a representar, etc. Con ella también ha sido posible escribir las letras sobre la pantalla para mostrar la distancia al peatón más cercano, velocidad del coche, y los mensajes de peligro visuales.

Algunos de los códigos de la librería OpenCv mas utilizados en la implementación del proyecto han sido los siguientes:

- **cvPutText**(CvArr* *img*, const char* *text*, CvPoint *org*, const CvFont* *font*, CvScalar *color*). Utilizado para poder escribir las alertas visuales que se muestran por pantalla, así como otros parámetros de la detección, como la distancia al peatón más cercano, o la velocidad a la que circula el vehículo. Permite modificar la fuente, posición, tamaño, grosor y definición.
- **cvLine**(CvArr* *img*, CvPoint *pt1*, CvPoint *pt2*, CvScalar *color*, int *thickness*=1, int *lineType*=8, int *shift*=0). Instrucción utilizada para representar líneas sobre la pantalla y poder mejorar la estética de la visualización. También se ha utilizado para marcar los rangos en los ángulos de detección que tienen los dispositivos láser y de visión. Se pueden modificar parámetros como grosor, color y tipo de línea.
- **cvCircle**(CvArr* *img*, CvPoint *center*, int *radius*, CvScalar *color*, int *thickness*=1, int *lineType*=8, int *shift*=0). Instrucción para representar círculos sobre la imagen. En el proyecto se ha usado para representar las zonas de riesgo que presenta el vehículo, así como para ubicar al peatón.

En cuanto al aviso del peligro por medio de alerta acústica, la propia librería “*Windows.h*” proporciona la instrucción “*beep*” que ha sido la empleada para dar el aviso modificando duración y frecuencia.

En este programa cliente también se programó la aplicación de las escalas para mejorar la visualización en la pantalla como ya se ha explicado en el apartado 5.4.2.1.

Capítulo 7.

Resultados

7.1 Introducción

Para probar el correcto funcionamiento de la aplicación se realizaron una serie de pruebas variando diferentes parámetros como número de peatones o velocidad del vehículo. Al no estar todavía disponible el sistema de fusión de detección de peatones, las pruebas se realizaron con los datos facilitados por el sistema de detección de peatones por medio del láser, suficiente para este tipo de pruebas ya que el objetivo de este proyecto no es la detección en sí, si no el cálculo de las zonas de riesgo en las que se encuentra el peatón y el aviso al conductor. Por el mismo motivo anterior, las pruebas realizadas no han sido necesarias realizarlas con el vehículo de pruebas IVVI 2.0, si no simplemente con las secuencias que fueron obtenidas de las pruebas de detección de los peatones realizadas en otros proyectos, lo que ha facilitado la realización de estas pruebas y comprobar sus resultados con detenimiento.

Las secuencias de la detección de los peatones facilitadas por las pruebas de otros proyectos cubrían casi todas las situaciones habituales que se puedan dar en la circulación de un vehículo, sin embargo, como se quería probar el funcionamiento para las situaciones habituales pero también para todo tipo de situaciones aunque sean muy complicadas que se puedan llegar dar en una situación real, se crearon artificialmente secuencias en las que se variaba las posiciones de los peatones, número de ellos, así como la velocidad del vehículo con un rango muy alto de posibilidades. Incluso se crearon secuencias simuladas en las que el peatón era atropellado por el vehículo, que como es lógico no se habrían podido conseguir con los datos reales de las pruebas del vehículo. Con estas secuencias simuladas se consiguieron realizar todas las pruebas previstas y comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación, lo que sin duda la hace más robusta y eficaz.

Otras pruebas que se tuvieron que llevar a cabo fueron, la comprobación del funcionamiento de la aplicación en tiempo real y el correcto funcionamiento en la transmisión de datos entre diferentes programas por medio de sockets

7.2 Conectividad entre sockets

Como ya se ha comentado en el apartado 6.2, en la implementación del código fueron necesarios crear dos programas paralelos que estaban constantemente comunicados entre ellos y enviando las secuencias de las detecciones de peatones. La comunicación entre ambos programas se estableció con los conocidos como sockets, que permiten una comunicación entre programas servidor y cliente de forma instantánea que permiten el funcionamiento en tiempo real. Al tener que crear buffers de almacenamiento antes del envío de los datos, en la fase inicial de programación se comprobó que el envío de los datos no era del todo correcto. Para detectar donde se encontraba el problema se establecieron comandos de programación muy simples que mostraran por la consola del programa servidor todos los datos enviados, y por la consola del programa cliente los datos recibidos. Se creó un código numérico para poder diferenciar las secuencias de datos y así poder analizar de forma fiable el envío.

Gracias a estas pruebas y modificando el programa inicial, se llegó a conseguir el correcto funcionamiento de la comunicación entre programas, como se puede observar en la figura

32, donde se muestra en las consolas de programación los datos enviados y los datos recibidos por ambos programas, y como son ambos casos los mismos.

```

Intentando Conexión con Host: 127.0.0.1 2050 ...
Encontrados datos de laser: 0
El numero de peatones es: 2
La posicion X del peaton0 es: 70.500000
La posicion Y del peaton0 es: 50.000000
La posicion X del peaton1 es: 20.000000
La posicion Y del peaton1 es: 50.000000
Encontrados datos de GPS: -1
Encontrado datos de laser: -1
Encontrado datos de GPS: 0
La velocidad VX del coche es 34.930000
La velocidad VY del coche es 1.680000
La velocidad del coche es 34.970379
Encontrado laser: 0
El numero de peatones es: 2
La posicion X del peaton0 es: 65.500000
La posicion Y del peaton0 es: 50.000000
La posicion X del peaton1 es: 10.000000
La posicion Y del peaton1 es: 50.000000
Encontrados datos de GPS: -1
Encontrado datos de laser: -1
Encontrado datos de GPS: 0
La velocidad VX del coche es 34.930000
La velocidad VY del coche es 1.680000
La velocidad del coche es 34.970379
Encontrado laser: 0

el numero de peatones es 2
La posicion de peaton X0 RECIBIDA es 70.499997
La posicion de peaton Y0 RECIBIDA es 50.000003
La posicion de peaton X1 RECIBIDA es 20.000003
La posicion de peaton Y1 RECIBIDA es 50.000003
velocidad RECIBIDA por socket es 34.970379
el numero de peatones es 2
La posicion de peaton X0 RECIBIDA es 65.499997
La posicion de peaton Y0 RECIBIDA es 50.000003
La posicion de peaton X1 RECIBIDA es 10.000003
La posicion de peaton Y1 RECIBIDA es 50.000003
velocidad RECIBIDA por socket es
  
```

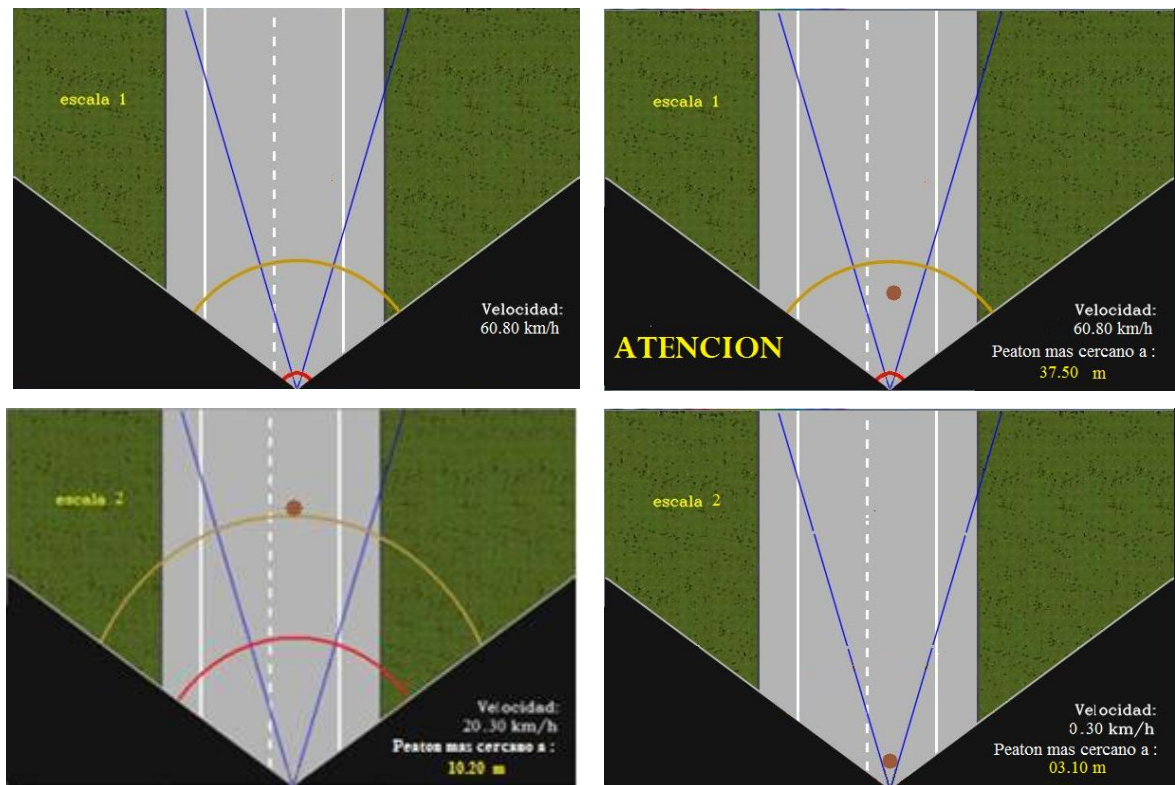
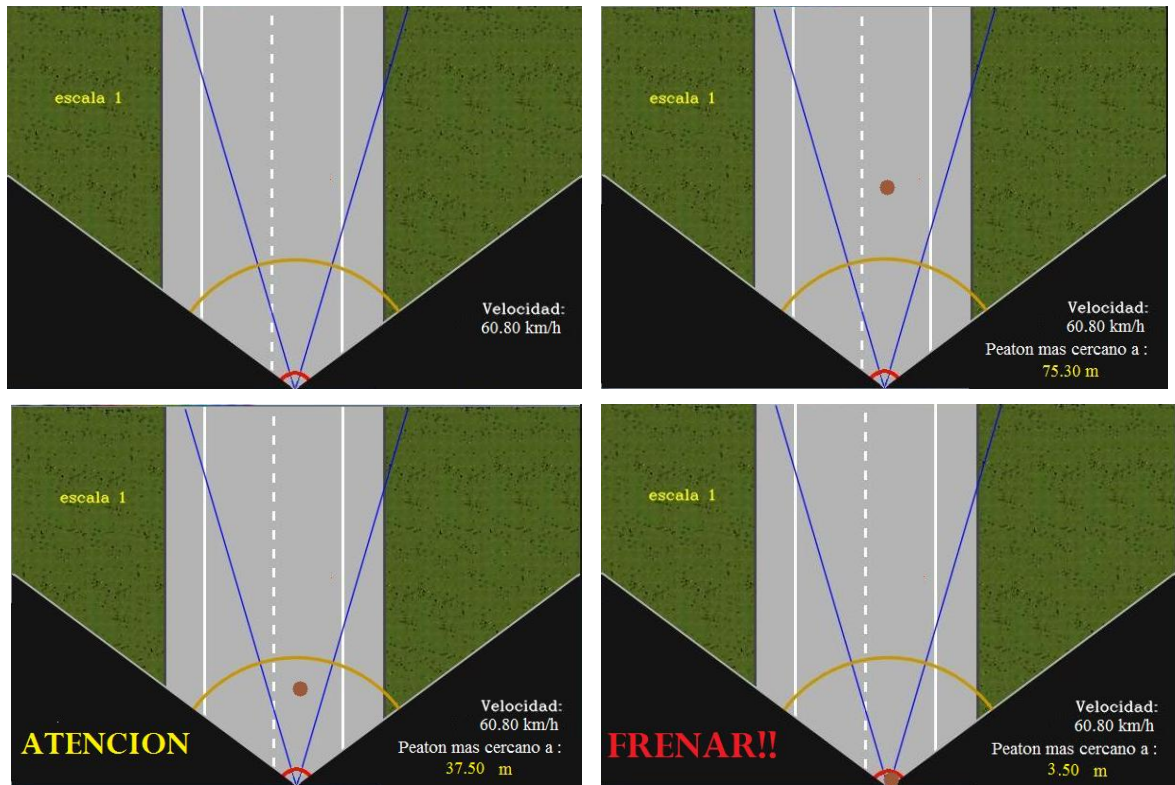
Figura 32: Consolas de programación donde se puede comprobar el correcto envío de los datos

7.3 Análisis de las pruebas con secuencias de peatones

Se han realizado multitud de pruebas con diferentes secuencias, ya sean obtenidas de forma real o simuladas, y en dichas secuencias se han comprobado todos los escenarios posibles en los que se puede ver involucrado un peatón o una serie de peatones. Los parámetros, así como los resultados obtenidos en las secuencias probadas han sido los siguientes:

- **Con un solo peatón detectado:** Para comprobar los diferentes tipos de alerta que se producen según la posición de un solo peatón, se ha simulado que el vehículo circula a velocidad constante y el peatón se encuentra inmóvil en la calzada, sin ser visto por el conductor del vehículo y sin hacer caso a las alertas producidas. En esta situación el peatón pasa por todas las zonas de detección establecidas, hasta el punto de producirse la hipotética colisión al no haber actuado de forma correcta el conductor y mantener la misma velocidad (figura 33).

Otra prueba realizada es la misma situación que la anterior, en la que el peatón se encuentra en la calzada inmóvil, pero que en esta secuencia las alertas producidas por el sistema de detección de peatones consiguen avisar al conductor, y éste actúa de forma correcta frenando el vehículo antes de que el peatón se encuentre en una zona de colisión inminente (figura 34), en la figura se puede ver como las zonas de riesgo reducen su campo de peligro al disminuir la velocidad del vehículo hasta que el punto de llegar a desaparecer por llegar a detenerse completamente el vehículo para evitar el accidente.



- **Varios peatones en la misma secuencia:** El sistema es capaz de representar por pantalla la situación de varios peatones a la vez, así como calcular si alguno de ellos invade las zonas de riesgo establecidas. Las pruebas se han realizado simulando la presencia de hasta 7 peatones, aunque el sistema está diseñado para ser capaz de representar hasta 50 peatones de forma simultánea. Con estos 7 peatones a la vez, el funcionamiento se ha mostrado correcto, al igual que si hubiera solo un peatón. Las pruebas se han centrado en la representación de los siete peatones representados a la vez (figura 35), y comprobando que efectivamente se muestra la distancia al peatón más cercano al vehículo sin depender la posición en la que se encuentra. Además en esa misma secuencia se ha probado que cuando han sido detectados un grupo de peatones en las zonas de riesgo establecidas, el sistema da prioridad a los peatones que se encuentran en una posición más peligrosa, actuando el sistema emitiendo la alarma más restrictiva, y mostrando la distancia a la que se encuentra el peatón más cercano.

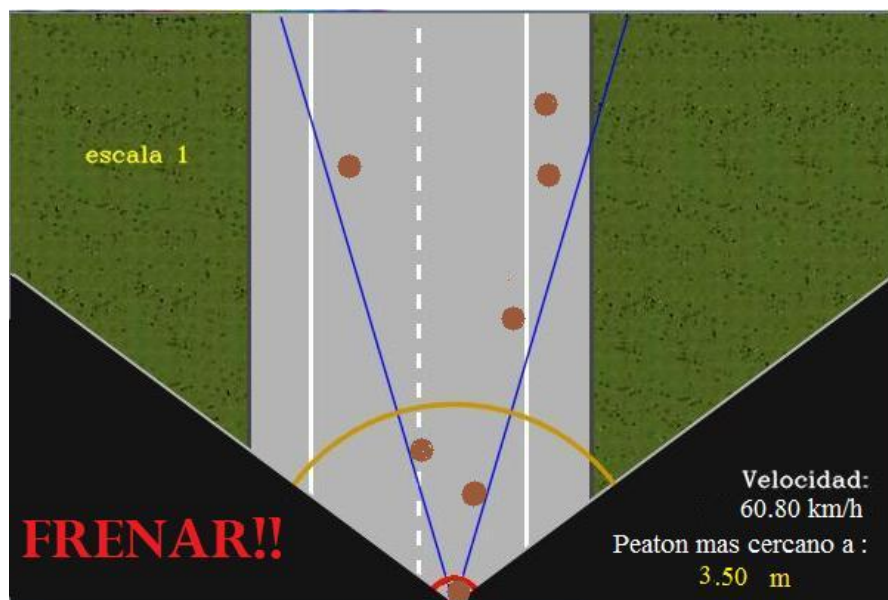


Figura 35: Simulación de varios peatones detectados de forma simultánea y donde se aprecia la prioridad de alerta

- **Otras situaciones:** Las situaciones probadas anteriormente deberían ser suficientes para comprobar que los resultados obtenidos de ellas han sido satisfactorios al demostrar el correcto funcionamiento de la aplicación, sin embargo se han probado multitud de situaciones. Una de las situaciones probadas es el típico caso en el que el peatón va a cruzar la calzada por un lugar inapropiado a pesar de ver un vehículo aproximarse. El conductor del vehículo es consciente de la situación del peatón, en este caso por la ayuda de los sistemas de detección, por lo que empieza a reducir la velocidad cuando el peatón se encuentra en la zona de peligro y ha sido avisado por las alarmas. Como el peatón sigue con su movimiento horizontal para atravesar la calzada, su única actuación es acelerar el ritmo para evitar la colisión. En la representación de la pantalla del vehículo, al ser el vehículo el sistema de referencia, se verá como el peatón realiza una trayectoria diagonal que va perdiendo su inclinación al reducir el vehículo su velocidad. En esta secuencia el peatón no sufre

daños al actuar el conductor de forma correcta (figura 36). Otra de las situaciones probadas, y en la que los resultados no han sido del todo satisfactorios, ha sido cuando un peatón detectado se encuentra en una posible zona de riesgo, sin embargo si dicho peatón se encuentra inmóvil, no tiene porque cruzarse en la trayectoria del vehículo. El caso típico de esta situación es un peatón andando por una acera que se encuentre muy próxima a la calzada, por lo que el sistema detectará su presencia y advertirá del posible peligro que puede tener este peatón, sin embargo a pesar de la velocidad del vehículo y la cercanía del peatón, éste no tiene porque encontrarse siempre en una situación de peligro, lo que podría ocasionar que se activen las alarmas sin llegar a producirse una situación que las requiera (figura 37). Se espera que este inconveniente se elimine con el futuro sistema de fusión, ya que se prevé que sea capaz de seguir las trayectorias de los peatones y así saber si dicha trayectoria es una situación de peligro o no, por eso no se han desarrollado otros sistemas para evitar esta situación en el presente proyecto.

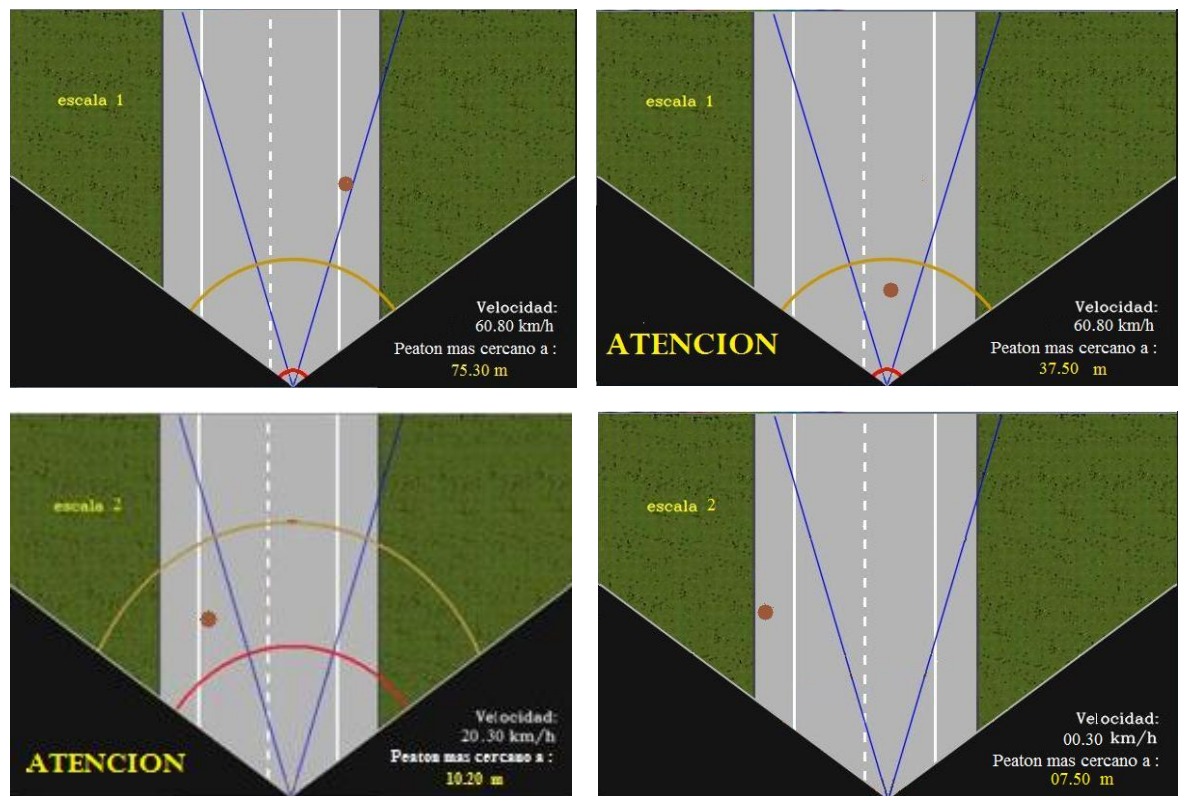


Figura 36: Simulación de falsa alarma al encontrarse peatón fuera de la trayectoria del vehículo

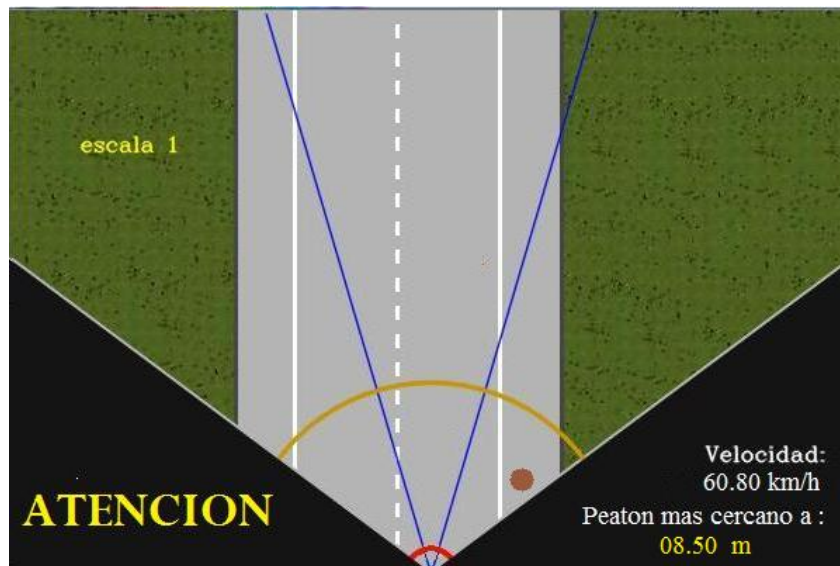


Figura 37: Secuencia que simula a un peatón cruzando la calzada, donde el vehículo disminuye la velocidad hasta llegar a pararse para evitar la colisión. En la secuencia se puede observar el cambio de escalas para mejorar la visualización

7.4 Análisis del funcionamiento en tiempo real

Una de las pruebas más importantes que se realizaron fue comprobar el correcto funcionamiento en tiempo real de todo el proceso, y que gracias a ellas se consiguieron solventar fallos graves que se habían realizado durante el proceso inicial de programación.

Al tratarse de un sistema de seguridad, es imprescindible que las detecciones de los peatones así como la alerta al conductor sean en tiempo real, lo que quiere decir que sean inmediatas. En la configuración actual, el láser tarda 53ms en realizar un barrido completo para la detección de peatones, y por visión menos tiempo aún, por lo que es necesario que todo el proceso de cálculo de zonas de peligro y representación por pantalla siempre sea inferior a ese tiempo y así para poder garantizar el tiempo real.

Para poder realizar las pruebas del funcionamiento del tiempo real se ha trabajado con la librería *"tim.h"* y se creó una función que calculaba el momento exacto cuando empezaba una instrucción, y su momento de fin, a continuación se calculaba la resta de ambos tiempos para poder conocer el tiempo total de procesamiento de cada instrucción.

Las pruebas de velocidad están realizadas con un ordenador portátil Acer TravelMate 5730, que tiene un procesador Intel Core2 Duo T5870 a 2.00GHz, y con una memoria RAM de 2GB, y siendo conscientes que si se realizaran con otro procesador estos resultados pueden variar.

A continuación se desglosan los tiempos de cada proceso del código del programa. No se han incluido las representaciones estáticas, ni tiempo de conexión, ni otros procesos como el abrir la ventana de representación ya que son procesos aislados que solo se ejecutan una vez al comienzo del programa y no afectarían al resto del proceso una vez esté en funcionamiento.

Proceso	Tiempo
Lectura de datos	6 ms*
Calcular y representación escala de visualización	0.8 ms
Calculo y representación de zonas de riesgo	2.2 ms
Representar en pantalla fondo negro	3.5 ms
Escribir velocidad del vehículo	2.3 ms
Representación peatones	0.19 ms*
Calculo y representación distancia peatón coche	2.8 ms
Emisión de alerta auditiva	2.4 ms
Emisión de alerta	1.8 ms
Ejecución de las representaciones	14 ms*
TOTAL	35.99 ms*

Tabla 10: Desglose de tiempos de ejecución de cada proceso

**Según el número de peatones detectados de forma simultánea estos valores pueden verse incrementados. Las pruebas realizadas han calculado que el incremento medio por cada peatón simultáneamente detectado es de aproximadamente 0.25ms, por lo que aunque se diera el imprevisible caso de detectar hasta 50 peatones a la vez (máximo para el que está configurado el sistema) no se llegaría a los 52 ms máximos que pudieran poner en riesgo el cálculo en tiempo real.*

Se han conseguido estos tiempos siendo muy minimalista en toda la implementación de código, primando la utilidad y seguridad del tiempo real antes que la estética. Esta limitación de tiempo, solo ha permitido la representación en la pantalla de forma esquemática, sin poder entrar en mucho detalle en cuanto a la representación, ya que incrementa mucho el tiempo de procesado. Un ejemplo de ello, ha sido el tener que prescindir del uso del filtro gaussiano (CC_VV) que incluye como opción la librería OpenCv y que perfeccionaba los bordes de las representaciones mejorando considerablemente la estética, pero que incrementaba en más de 50% el tiempo de procesado.

Capítulo 8.

Conclusiones y trabajos futuros

8.1 Conclusiones

En el presente proyecto se ha desarrollado un sistema capaz de clasificar las zonas de riesgo que presenta un vehículo ante un peatón, así como desarrollar un sistema de visualización y alerta dirigido al conductor para que pueda reaccionar y evitar la colisión con el peatón.

Para conseguir los resultados de este proyecto, se ha tenido que recurrir a trabajos previos englobados dentro del mismo proyecto global del vehículo inteligente IVVI 2.0, en especial la detección de obstáculos por diferentes medios, y de otros desarrollos de programación como la librería OpenCv necesaria para poder representar por pantalla los diferentes escenarios posibles.

Los resultados obtenidos han sido satisfactorios, ya que se han logrado los objetivos previstos al comienzo del proyecto. Además, los resultados de las pruebas realizadas han demostrado que el sistema es capaz de calcular las zonas de riesgo que produce el vehículo, funcionando correctamente en escenarios muy diferentes entre sí, con varios peatones y en diferentes situaciones, y dando prioridad a las situaciones más comprometidas. También se ha demostrado y cumplido el objetivo de que el proceso es capaz de funcionar en tiempo real, algo imprescindible para este tipo de sistemas.

Se ha contribuido al desarrollo de un sistema de seguridad válido para incluirlo en el futuro en vehículos de serie, sistema que puede ser muy útil en la seguridad vial ayudando a reducir las víctimas ocasionadas por atropellos.

8.2 Trabajos futuros

A continuación se trazarán las posibles ideas de mejora que ofrece el proyecto:

- **Integración en vehículo IVVI 2.0.** Integrar de una forma completa el presente proyecto dentro del proyecto global del vehículo inteligente. Primeramente configurándolo con el nuevo sistema de detección de peatones por medio de fusión que se está desarrollando actualmente, y después poder probar el sistema en conjunto en situaciones reales de circulación con el vehículo de pruebas que dispone la universidad.
- **Mejorar la representación por pantalla.** Este trabajo futuro podría ser muy interesante y daría al proyecto una vistosidad y utilidad considerable. La mejora propuesta es incorporar a la representación por pantalla un mapa digital de carreteras en el que se pueda ver la situación del vehículo, similar a los navegadores GPS actuales. La vista sería desde un plano superior al vehículo y mostraría sobre ese mapa la situación de los peatones u otro tipo de información pero sobre una situación real, como son las curvas, cruces, etc. En el presente proyecto se trabajó en este aspecto, pero la envergadura de la investigación hizo desistir de incluirlo, y dejarlo para un proyecto posterior. La línea de investigación que se siguió fue utilizar un mapa digital de licencia libre como es OpenStreetMap [23] y de código abierto para poder realizar

las modificaciones oportunas, utilizando el posicionamiento y la brújula que ofrece el GPS incorporado en el vehículo para así poder mostrar por pantalla la situación del vehículo sobre el mapa. Se sabe que se han desarrollado proyectos con cierta similitud como el proyecto “*Cockpit*” [24] que sitúa las señales de tráfico en la carretera, lo que demuestra la viabilidad del proyecto. Además con vistas mas futuras, utilizando esta cartografía libre se podrían integrar otros sistemas disponibles en el vehículo IVVI, como la detección de señales, o incluso usar el mapa como navegador, haciendo el uso de la pantalla no solo para los sistemas de seguridad, si no para un completo sistema de copiloto inteligente, y que sería más fácil de integrar en vehículos comerciales. Sin duda, mi opinión personal es que el desarrollo de esta línea de investigación abriría campos para la visualización de otros sistemas y facilitaría la utilidad de la pantalla integrando en ella numerosos dispositivos.

- **Representación y aviso de peligro de otro tipo de obstáculos.** Otro trabajo futuro bastante viable ya que se podría basar por completo en el desarrollo del presente proyecto, sería incorporar otro tipo de obstáculos en el aviso y representación. Simplemente haría falta modificar las bases de datos de donde se obtienen en la actualidad la información sobre los peatones, incorporando información sobre otros obstáculos que hayan sido detectados por los sistemas de láser o fusión (proyectos que ya han sido desarrollados por el departamento). Estos nuevos obstáculos habría que identificarlos dentro de las bases de datos con algún tipo de código, y realizando unas pequeñas modificaciones en el código actual podrían mostrarse también en pantalla, o incluso incorporando algoritmos nuevos que calculen las zonas de riesgo con ese obstáculo.
- **Actuación autónoma del vehículo en zonas de peligro.** Como desarrollo a largo plazo, y después de asegurar el correcto funcionamiento y la robustez de los sistemas implicados, una mejora futura sería que el vehículo pudiera actuar de forma autónoma y sin la necesidad de la reacción del conductor para evitar la colisión con el peatón u otros obstáculos. El funcionamiento sería que un dispositivo pudiera frenar el vehículo si detecta un peatón en la zona de colisión inminente, y cuando en teoría el conductor no fuera capaz de reaccionar a tiempo para evitar el accidente. Con esta mejora se podrían reducir las lesiones al peatón o incluso evitar el accidente por completo.

Capítulo 9.

Presupuesto

9.1 Introducción

En este capítulo se detallará el presupuesto necesario para poder realizar el sistema de clasificación de zonas de riesgo y emisión de alertas, detallando los costes según su procedencia. Comentar que estos dispositivos son compartidos con otros sistemas incorporados al vehículo IVVI 2.0, lo que significa que los gastos relativos del presente sistema pudieran ser algo inferiores al dividirse los proyectos.

9.2 Coste de material

En esta sección se incluye el coste de los equipos y software utilizados para la construcción del sistema de aviso de peatones en zonas de riesgo.

En la siguiente tabla se detallará el coste de los equipos utilizados:

Concepto	Coste unitario	Cantidad	Importe
PC portátil Acer TravelMate 5730	645€/u.	1 u.	645€
Telómetro láser Sick LMS 291-S05	3.500€/u.	1 u.	3.500€
Conversor serie-USB	60€/u.	1 u.	60€
Cámara Point Grey Grasshopper2	1.490,30€/u.	1 u.	1.490,40€
Pantalla Xenarc 700 TSV	324,60€/u.	1 u.	324,60€
GPS MTi-G Xsens	3.800€/u.	1 u.	3.800€
TOTAL *			9.820€

Tabla 11: Coste del equipo

**Sin tener en cuenta la plataforma donde realizar las pruebas.*

En la siguiente tabla se detallará el coste del software utilizados, teniendo en cuenta el precio por periodos de contratación de licencia y tratándose de licencias académicas.

Concepto	Coste unitario	Cantidad	Importe
Microsoft Windows XP Profesional	200€/año	1 año	200€
Microsoft Visual Studio 2008 Express Edition	Licencia gratuita	1 año	0€
Microsoft Office 2007	200€/año	1 año	200€
MathWorks MATLAB 7	1.200€/año	1 año	1.200€
TOTAL			1.600€

Tabla 12: Coste del software

9.3 Coste de personal

En esta sección se incluye el coste del personal involucrado en el desarrollo del proyecto durante el tiempo de desarrollo del mismo.

Concepto	Coste unitario	Cantidad	Importe
Ingeniero Técnico Industrial	1.800€/mes	10 meses	18.000€
TOTAL			18.000€

Tabla 13: Coste de personal

9.4 Coste total del proyecto

El importa total del desarrollo de la aplicación asciende a la cantidad de:

Concepto	Importe
Coste material	
Coste equipo	9.820€
Coste software	1.600€
Coste personal	18.000€
TOTAL	29.420€

Tabla 14: Coste total del proyecto

Bibliografía

- [1] J. M. Armingol, A. d. I. Escalera, C. Hilario, J. M. Collado, J. P. Carrasco, M. J. Flores y F. J. Rodríguez, «IVVI: Intelligent Vehicle based on Visual Information,» 2007.
- [2] D. G. d. Tráfico, Anuario estadístico de accidentes 2010, 2011.
- [3] M. J. Flores Calero, Sistema avanzado de asistencia a la conducción mediante visión por computador para la detección de la somnolencia, 2009.
- [4] «Sick tool,» [En línea]. Available:
<http://sicktoolbox.sourceforge.net/docs/sick-lms-technical-description.pdf>.
 [Último acceso: 5 Febrero 2012].
- [5] «Poin grey,» [En línea]. Available:
http://www.ptgrey.com/products/grasshopper2/grasshopper2_gige_camera.asp.
 [Último acceso: 12 Abril 2012].
- [6] «Grey Point,» [En línea]. Available:
http://www.ptgrey.com/products/bumblebee2/bumblebee2_stereo_camera.asp.
 [Último acceso: 12 Abril 2012].
- [7] «Xsens,» [En línea]. Available:
http://www.xsens.com/images/stories/products/PDF_Brochures/mti-g%20leaflet.pdf.
 [Último acceso: 5 Marzo 2012].
- [8] «Meilhaus,» [En línea]. Available: http://www.meilhaus.de/produkte/interfaces-datenuebertragung/?user_produkte%5BPR%5D=132&cHash=ecac44665b.
 [Último acceso: 12 Abril 2012].
- [9] «Xenarc,» [En línea]. Available: <http://www.xenarc.com/product/700ts.html>.
 [Último acceso: 12 Febrero 2012].
- [10] F. García, «Fusion Based Safety Application for Pedestrian Detection with Danger Estimation».
- [11] I. F. Rodríguez, PFC: Clasificación de elementos de entornos viarios basada en radar láser, 2009.
- [12] N. D. a. B. Trigss., «Histograms of oriented gradients for human detection.,» de *In Proceedings of IEEE Conference Computer Vision and Patter Recognition*, 2005.

- [13] «Histogram of oriented gradients. Wikipedia,» [En línea]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Histogram_of_oriented_gradients. [Último acceso: 5 Febrero 2012].
- [14] R. K. Johansson G, Drivers' brake reaction times, Hum Factors, Feb 1971.
- [15] M. K. Makishita H, Differences of drivers' reaction times according to age and mental workload, Accid Anal Prev., Mar 2008 .
- [16] J. C. Collins, "Accident Reconstruction, Springfield, USA: Charles C. Thomas Publisher, 1979.
- [17] J. Bernia, Tiempo de reacción y procesos psicológicos, Valencia: Nau Llibres, 1981.
- [18] J. Pérez Tejero y J. Soto Rey, Estudio del tiempo de reaccion ante estímulos sonoros y visuales, Madrid.
- [19] P. Tudela, Tiempo de reacción. Psicología Experimental (4ª ed.), Madrid, 1989.
- [20] B. y. R. J. Galilea, Tiempo de Reaccion y Deporte: Una Aproximacion Empirica., Barcelona: INEF- Catalunya, 1983.
- [21] G. T. J. y. L. V. García, Influencia del color en el tiempo de reacción, Centro Optometría Internacional, 2004.
- [22] I. F. RODRÍGUEZ, PFC: Clasificación de elementos de entornos viarios basada en radar láser, 2009.
- [23] «OpenStreetMap,» [En línea]. Available: <http://www.openstreetmap.org/>.
- [24] «Projets Marble. OpenStreetMap,» [En línea]. Available: <http://techbase.kde.org/Projects/Marble/MarbleUsedBy#Cockpit>. [Último acceso: 12 Noviembre 2011].
- [25] G. T. J. y. L. V. García, Influencia del color en el tiempo de, 2004.
- [26] Gary Bradsky, Adrian Kaehler. Learning OpenCV, Computer vision with the OpenCv Library.O'Really, First Edition 2008.
- [27] Proyecto Fin de Carrera: Diseño del Sistema de Guiado de un Automóvil Autónomo. G.Morales. Universidad Carlos III de Madrid. 2009.
- [28] Proyecto Fin de Carrera: Clasificación de entornos viarios basada en laser. I. Fernández Rodríguez. Universidad Carlos III de Madrid. 2009.
- [29] «Tutorial OpenCV,» [En línea]. Available: http://docencia-eupt.unizar.es/ctmedra/tutorial_opencv.pdf. [Último acceso: 12 febrero 2011].

